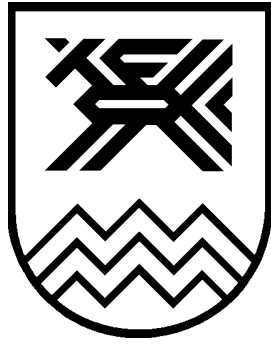


Изучение водных объектов и природно- территориальных комплексов Карелии







KARELIAN RESEARCH CENTRE
OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
NORTHERN WATER PROBLEMS INSTITUTE
KARELIAN STATE PEDAGOGICAL
UNIVERSITY



STUDY OF WATER OBJECTS AND SPATIAL NATURAL COMPLEXES OF KARELIA



Petrozavodsk
2007



КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ СЕВЕРА
КАРЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



ИЗУЧЕНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ КАРЕЛИИ



Петрозаводск
2007

Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 170 с. + вклейки.

Учебное пособие «Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии» подготовлено с целью продолжения популяризации идей проведения различных научных исследований и получения достоверных данных о состоянии водных объектов и природно-территориальных комплексов для их охраны и рационального использования.

Данное пособие является продолжением серии научно-публицистических книг, изданных ИВПС ранее:

Экологические исследования природных вод Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. 107 с.

Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 142 с.

Экологическое просвещение: от теории к практике. Петрозаводск: ИВПС КарНЦ РАН, 2004. 134 с.

Структура книги, подготовленной научными сотрудниками ИВПС КарНЦ РАН и КГПУ, представлена в виде двух разделов, теоретического и практического, которые дополняют друг друга и способствуют восприятию процесса научных исследований как единого целого, от их планирования, организации и осуществления при использовании соответствующих современных методов и приборов, до анализа полученной информации и понятного ее изложения.

Создатели книги выражают надежду, что материалы, помещенные в ней, помогут студентам вузов, учителям и учащимся средних школ, а также представителям администраций и всем гражданам Республики Карелия, заинтересованным в состоянии окружающей среды, принять активную жизненную позицию, направленную на сохранение и рациональное использование водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии.

The textbook «Study of water objects and spatial natural complexes of Karelia» has been prepared to popularize the ideas of various research projects and gathering of reliable data on the status of water objects and spatial natural complexes with view to their conservation and sustainable management.

The textbook continues the series of popular science books published by the Northern Water Problems Institute (NWPI) earlier:

Ecological research of Karelian natural waters. Petrozavodsk: KRC of RAS, 1999. 107 p.

The water environment of Karelia: research, management and conservation. Petrozavodsk: NWPI, KRC of RAS, 2003. 142 p.

Environmental education: from theory to practice. Petrozavodsk: KRC of RAS, 2004. 134 p.

The book, prepared by researchers from the Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre and the Karelian State Pedagogical University, is structured into two sections – a practical and a theoretical ones, which complement each other and help perceive scientific research as a holistic process, from planning, organization and implementation using up-to-date techniques and tools to analysis of the information gathered and its articulate presentation.

The authors and editors have the hope that the materials included in the book will help university students, high school teachers and pupils, as well as decision-makers and all people of Republic of Karelia interested in the environmental situation adopt an active stance in life to strive for conservation and sustainable use of waters and natural complexes of Karelia.

Редакционная коллегия:

Филатов Н. Н., д.г.н., профессор, директор ИВПС КарНЦ РАН

Регеранд Т. И., к.б.н., ученый секретарь ИВПС КарНЦ РАН

Гриппа С. П., к.г.н., доцент кафедры географии КГПУ, проректор по учебной работе

Потахин С. Б., к.г.н., доцент кафедры географии КГПУ, зав. кафедрой географии

Рецензенты: Китаев С. П., д.б.н.

Полин А. К. к.г.-м.н., доцент кафедры КГПУ, декан ЕГФ КГПУ

ISBN 978-5-9274-0240-02

© Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, 2007

© Карельский государственный педагогический университет, 2007

© Редакционно-издательский отдел Карельского научного центра РАН, 2007

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	9
Современные методы исследований в лимнологии	11
Филатов Н. Н.	
Водные ресурсы Карелии как эколого-экономический фактор	29
Литвиненко А. В., Лозовик П. А., Карпечко В. А.	
Климат: определение понятия, основные компоненты	37
Назарова Л. Е.	
Подземные воды Карелии и их использование	40
Бородулина Г. С.	
Влияние рубок ухода на речной сток Карелии	44
Бондарик Н. Л.	
Кислотные дожди и проблема закисления поверхностных вод	46
Потапова И. Ю.	
О самоочищении водоемов	50
Дубровина Л. В.	
Термические процессы в озерах Карелии	52
Ефремова Т. В.	
Зоопланктон водоемов Карелии	58
Куликова Т. П.	
Альгоиндикация состояния водоемов Карелии	78
Чекрыжева Т. А.	
ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	83
Рекомендации по оценке состояния экосистем малых водоемов по организмам макрозообентоса	85
Полякова Т. Н.	
Методы биотестирования воды и водных вытяжек из почв	106
Калинкина Н. М.	
Некоторые методики ихтиологических исследований в курсе школьной факультативной программы по биологии	110
Георгиев А. П.	
Реконструкция и анализ внутривековой изменчивости годовой температуры воздуха при отсутствии данных наблюдений (на примере г. Питкяранты)	116
Сало Ю. А., Емельянова М. В.	
Гидрохимические исследования озера Пряжинского	123
Потапова И. Ю., Белкина Н. А., Бородулина Г. С., Лозовик П. А., Рыжаков А. В.	
Изучение озерных донных отложений (на примере водоемов Заонежского полуострова)	135
Белкина Н. А.	
Создание виртуальной экологической тропы «Озеро Пряжинское»	138
Толстиков А. В., Потахин М. С., Богданова М. С.	
Изучение загрязнения береговой линии и изменения приаквальных геокомплексов . .	142
Потахин С. Б., Богданова М. С.	
Опыт организации и проведения учебных полевых практик	144
Гриппа С. П., Щеколдина И. В.	

CONTENTS

Introduction	7
Theoretical section	9
Contemporary methods in limnology	11
<i>Filatov N. N.</i>	
Water resources of Karelia as an environmental economic factor	29
<i>Litvinenko A. V., Lozovik P. A., Karpechko V. A.</i>	
Climate: defining the subject the main componets	37
<i>Nazarova L. E.</i>	
Groundwater in Karelia and its utilization	40
<i>Borodulina G. S.</i>	
Effect of thinnings on streamflow in Karelia	44
<i>Bondarik N. L.</i>	
Acid rains and the problem of surface water acidification	46
<i>Potapova I. Yu.</i>	
On self-purification of water-bodies	50
<i>Dubrovina L. V.</i>	
Thermal processes in lakes of Karelia	52
<i>Yefremova T. V.</i>	
Zooplankton in water-bodies of Karelia	58
<i>Kulikova T. P.</i>	
Algal indication of the status of waters in Karelia	78
<i>Chekryzheva T. A.</i>	
Practical section	83
Recommendations for assessing the status of small water-body ecosystems using macro-zoobenthos	85
<i>Polyakova T. N.</i>	
Methods for biotesting of water and aqueous extracts from soils	106
<i>Kalinkina N. M.</i>	
Some techniques for ichthyological studies at optional biology classes at school	110
<i>Georgiev A. P.</i>	
Reconstruction and analysis of intracentennial variability of the annual air temperature in the absence of observed data (case study of Pitkäranta)	116
<i>Salo Yu. A., Yemelyanova M. V.</i>	
Hydrochemical studies of Lake Pryazhinskoye	123
<i>Potapova I. Yu., Belkina N. A., Borodulina G. S., Lozovik P. A., Ryzhakov A. V.</i>	
Research into lake bottom sediments (case study of Zaonezhje Peninsula water-bodies) . . .	135
<i>Belkina N. A.</i>	
Producing the virtual nature trail «Lake Pryazhinskoye»	138
<i>Tolstikov A. V., Potakhin M. S., Bogdanova M. S.</i>	
Studying shoreline pollution and changes in waterside geographic complexes	142
<i>Potakhin S. B., Bogdanova M. S.</i>	
An experience of organizing and implementing academic field sessions	144
<i>Grippa S. P., Shchekoldina I. V.</i>	

Введение

АКАДЕМИЧЕСКАЯ НАУКА И ПОДГОТОВКА КАДРОВ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В последние десятилетия перед земной цивилизацией остро встают проблемы поиска новых источников энергии, освоения новых регионов, развития наукоемких производств, борьбы с экологическими кризисами, глобального изменения климата, социальных изменений в обществе, освоения космического пространства, создания единых систем управления энергоносителями, связью, информационным обеспечением, эффективных систем медицинской диагностики, совершенствования систем искусственного интеллекта и т. д. Фундаментальная наука в своих идеях и разработках ушла достаточно далеко в будущее. Наметившийся был разрыв между научными достижениями и прикладным их использованием сейчас заметно сокращается. Уже почти не вызывают удивления применение информационных и нанотехнологий, полупроводниковая техника, микропроцессоры, глобальные проекты по изучению, например, атмосферы или Мирового океана, системы космического позиционирования и многое другое, что постепенно входит в нашу обыденную жизнь.

Совершенно очевидно, что для успешного развития нашей техногенной цивилизации требуется мощный дееспособный научный потенциал, совершенствование которого на государственном уровне невозможно без эффективной системы образования. Общество и государство осознают, что у России нет перспектив в будущем без высокоразвитой конкурентоспособной науки, как и то, что существует диалектическая связь и зависимость между наукой и системой образования.

Сложившиеся тесные связи между научно-исследовательскими институтами Карельского научного центра РАН и учреждениями высшего профессионального образования Республики Карелия имеют глубокие корни и хорошие традиции в совместной подготовке кадров, в том числе и для нужд академической науки. Сотрудничество Карельского государственного педагогического университета со многими институтами КарНЦ РАН развивается по нескольким направлениям: привлечение научных сотрудников центра к подготовке кадров – это чтение лекций, руководство курсовыми и дипломными работами; участие в совместных научно-исследовательских проектах (грантах), в том числе с вовлечением студентов в проблемные группы по различным темам; совместная подготовка и проведение научно-практических конференций и семинаров, публикации их результатов; перекрестное введение сотрудников центра и вуза в состав ученых советов, кафедр и лабораторий.

Основной целью такого сотрудничества является углубление и расширение интеграции академической науки с университетской наукой для развития научно-технического и гуманитарного потенциала Карелии и России, заключающейся в расширении совместных научных исследований, обеспечении высокого уровня учебного процесса, подготовке научных кадров через аспирантуру и докторантуру, создании центров, лабораторий, кафедр.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- 1) осуществление эффективного взаимодействия научно-исследовательских учреждений и высшей школы, совершенствование форм и видов взаимодействия;
- 2) формирование единых информационных баз данных по направлениям совместной деятельности;
- 3) развитие опытно-экспериментальной и материально-технической базы совместных исследований;
- 4) материальная поддержка научных кадров НИИ и вузов, участников интеграции.

Основой интеграции академической, вузовской науки и системы образования могут быть научно-образовательные комплексы, функционирующие на базе совместных программ, финансируемые различными фондами поддержки и развития науки-образования. Существенный толчок развитию многим интегрирующим проектам сообщила Федеральная целевая программа «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 1997–2000 гг.» («Интеграция»), направленная на интеграцию фундаментальных исследований и внедрение новых технологий в промышленное производство. Важность ее заключалась в реально действующей системе интеграции научных учреждений с вузами, а также в реализации ряда конкретных учебных мероприятий, таких, например, как полевые практики, проведение конференций, школ, создание новых кафедр и т. д.

Новый виток развития этих интеграционных процессов был начат с ввода программы Президиума РАН «Поддержка молодых ученых», которая работает по двум направлениям:

Раздел 1. «Поддержка деятельности институтов РАН по привлечению талантливой молодежи к научной работе».

Раздел 2. «Поддержка проведения научных школ РАН для молодых ученых».

В 2002 г. в связи с необходимостью совершенствования научно-образовательной деятельности Института водных проблем Севера КарНЦ РАН (ИВПС КарНЦ РАН) был создан Учебно-научный центр «Водные объекты Карелии и методы их исследования» (УНЦ). Партнерами по сотрудничеству стали, в первую очередь, высшие учебные заведения России: МГУ и СПбПУ, и Карелии – КГПУ, работа с которыми была начата в период действия программы ФЦП «Интеграция». Используя возможности международного сотрудничества, в работу Учебно-научного центра были вклю-

чены проекты «Экологическое просвещение для учителей Карелии» с Центром окружающей среды Кайнуу (Финляндия), «Устойчивое использование вод» с университетом г. Уппсала (Швеция), «Балтийский Университет» (университеты г. Уппсала и Санкт-Петербурга). Для развития и разнообразия деятельности с целью расширения кругозора и наглядного восприятия окружающей среды в деятельности УНЦ учитываются возможности научной и просветительной деятельности национальных парков «Водлозерский» (Республика Карелия), «Коли» и «Заповедник Дружба» (Финляндия).

Принимая во внимание необходимость более раннего формирования навыков осуществления исследовательской деятельности с последующей заинтересованностью молодежи в получении высшего образования и в дальнейшей работе в сфере науки, одним из центральных направлений активности УНЦ стало сотрудничество с учителями и учащимися средних школ.

Таким образом, уникальной особенностью Учебно-научного центра ИВПС «Водные объекты Карелии и методы их исследования» является непрерывность обучающего процесса от школьника, студента до преподавателя средних учебных заведений, многие из которых занимаются научно-исследовательской деятельностью со своими учащимися, или до аспиранта и научного сотрудника структуры РАН. Данный замкнутый цикл дает возможность наблюдать результаты процесса обучения в Учебно-научном центре и координировать его с учетом реформ в системе среднего и высшего образования, а также РАН и развития научно-исследовательской базы ИВПС. Ключевым моментом процесса формирования и выявления талантливой молодежи, становления и развития научно-исследовательского потенциала учащихся является повышение уровня профессиональной подготовки преподавателя средней школы, создание «учителя-исследователя».

Интеграция науки и высшего образования, на примере сотрудничества ИВПС КарНЦ РАН и КГПУ в рамках работы Учебно-научного центра строится через систему совместного осуществления полевых исследований научных сотрудников и учебных практик студентов, результаты которых представляются на Республиканских школах-конференциях молодых ученых, которые стали традиционными, а также всероссийских и международных научных мероприятиях. Возможность ИВПС КарНЦ РАН использовать научно-исследовательское судно позволяет проводить ежегодные экскурсии-экспедиции, что значительно расширяет границы деятельности УНЦ.

Одним из наиболее важных направлений деятельности является совместная подготовка и публикация учебно-методических пособий для учащихся и учителей школ, студентов вузов, а также представителей административных структур и всех граждан, имеющих активную гражданскую позицию, направленную на охрану и устойчивое использование окружающей среды.

Методы и формы работы УНЦ ИВПС постоянно модифицируются с учетом внутреннего и внешнего развития, совершенствования технических и научных возможностей. Например, в 2006–2007 учебном году ИВПС начал проведение самостоятельных курсов «Окружающая среда Балтийского региона» и «Устойчивое использование водных ресурсов» по программе «Балтийского Университета», предназначенных для студентов КГПУ и учителей средних школ Республики Карелия. В настоящее время, учитывая реформы образования и новые технологические возможности средних учебных заведений, УНЦ ИВПС приступил к созданию инновационных учебных видеоматериалов в форматах, поддерживаемых современными носителями информации.

Улучшение работы механизма взаимодействия академических и вузовских структур можно видеть в увеличивающемся количестве прежде всего выпускников средних школ, поступающих в высшие учебные заведения, в том числе и в КГПУ. Далее уже сейчас намечена положительная тенденция на повышение заинтересованности выпускников вузов, прошедших подготовку в интегрированных образовательных структурах, созданных в институтах РАН, в поступлении в аспирантуру и дальнейшей своей профессиональной деятельности в науке. В частности, в ИВПС в настоящее время успешно прошли обучение в аспирантуре, работают, защитили и готовят к защите кандидатские диссертации 5 молодых научных сотрудников. Эти молодые талантливые ученые начинали свою научную деятельность школьниками, учителя которых десять лет назад занимались по программе «Экологическое просвещение» при ИВПС. Радует, что среди учителей средних школ растет интерес к повышению своей профессиональной подготовки. Из 160 преподавателей – участников программы ИВПС «Экологическое просвещение» в период 1996–2006 гг. фактически все успешно прошли квалификационную аттестацию с повышением разрядов, один – стал лауреатом конкурса «Учитель года - 2003», двое – победителями Российского конкурса в рамках приоритетного Национального Проекта «Образование». Ежегодно примерно 2–3 выпускника каждого из этих учителей становятся студентами вузов. При этом количество научных сотрудников ИВПС, принимающих активное участие в работе УНЦ за период 2002–2006 гг., увеличилось в 3 раза. Теоретически можно представить, с каким радиусом действия и скоростью восприятия распространяется инициатива Президиума РАН, направленная на выявление и поддержку талантливой молодежи, которая найдет и проявит себя в научных исследованиях России и Карелии в ближайшем будущем.

Гриппа С. П., проректор по учебной работе, к.г.н., доцент кафедры географии КГПУ
Регеранд Т. И., ученый секретарь ИВПС КарНЦ РАН, к.б.н., руководитель УНЦ

Деятельность Учебно-научного центра освещена на официальном сайте ИВПС КарНЦ РАН <http://nwpi.krc.karelia.ru> (раздел «Образование»).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ





СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЛИМНОЛОГИИ*

Н. Н. Филатов

Институт Водных проблем Севера КарНЦ РАН

ВВЕДЕНИЕ

Цели и задачи лимнологии менялись в зависимости от требований времени. По мере развития общества расширяется использование природных ресурсов, в том числе и озер, при этом предъявляются все более высокие требования к их исследованию. Развитие лимнологии происходит в тесном контакте с рядом смежных наук: гидрологией, биологией, физикой, химией, геофизикой, геологией, метеорологией, математикой, информатикой, а в последние годы и с развитием новых информационных технологий (интернет, геоинформационные системы, моделирование).

Конец XX в. характеризуется комплексностью гидрологических, гидрохимических и гидробиологических исследований в лимнологии. Но отмечается и определенный кризис, который выразился в том, что ряд методов, подходов, принятых в лимнологии, перестали удовлетворять тем все возрастающим по сложности и значимости проблемам, которые ставит перед наукой общество (Меншуткин и др., 2004). В настоящее время практика поставила перед лимнологией, гидрологией грандиозную задачу оптимального управления экологическими системами (Underwood, 1998), для решения которой традиционные методы оказались недостаточными.

В начале XX в. лимнология была наукой описательной, и алгоритм подавляющего большинства исследований состоял в наблюдении некоторых фактов и их дальнейшей статистической обработки, и все завершалось выводом эмпирической формулы. При таком подходе основным математическим инструментом в лимнологии и в экологии была теория вероятности, математическая статистика, а математическое моделирование с использованием аппарата дифференциальных уравнений было скорее экзотикой, а не рабочим инструментом исследователей (Меншуткин, 2002). В то время среди лимнологов бытовала мифическая вера в могущество статистических методов, которые помогут «вытащить» истину из больших массивов данных. Что это не так, первыми поняли экологи-экспериментаторы, они и стали применять методы оптимального планирования эксперимента (Налимов, 1983). Важно помимо описания отдельных явлений описать связи между элементами экологических систем

и механизмы процессов на всех уровнях. Заметим, что ориентация на процессы, а не на отдельные факты – это отличительная черта объектного подхода, который находит все более широкое применение в экологических исследованиях в настоящее время. Особую значимость при изучении озерных экологических систем приобретают не только причинно-следственные связи, но и взаимодействия, ибо именно взаимодействия формируют петли с отрицательной обратной связью, которые обеспечивают устойчивость и адаптивность водных экологических систем (Straskraba, 1995). Двух- или трехмерная пространственная структура изучаемых объектов и систем становится непременным атрибутом изучения водных экологических систем.

В последней трети XX в. лимнология стала рассматривать динамику своих элементов не только во времени, но и в пространстве. В области изучения водных экологических систем существенную роль стали играть эффекты пространственной неоднородности, пятнистости и трехмерной гидродинамической и гидробиологической структуры. Этому способствовало развитие средств аэро- и космического наблюдения, а также появление геоинформационных компьютерных систем, моделирования (Kondratjev, Filatov, 1999). Однако развитие лимнологических знаний и особенно практика построения имитационных моделей показали, что знание энергетических зависимостей необходимо, но недостаточно для адекватного описания динамики экологических систем. Действие таких факторов, как токсиканты, турбулентность, хеморецепция, не поддается объяснению в терминах энергетического баланса. Еще больше это относится к процессам, связанным с микроэволюцией, поведением животных, сукцессионными изменениями в растительных сообществах и пространственным распределением организмов.

Лимнология XXI в. – это, в первую очередь, экология озерных систем. Философские основы такого подхода берут начало в учении о «процессах» и «сообществах» Уайтхеда (1990). Практика XXI в. потребовала от лимнологов не то, как оценить, например, биоразнообразие природных сообществ, а как его сохранить или изменить видовой состав в желаемом направлении. Не как измерить продукцию популяций зоопланктона или промысловых рыб (что, конечно, само по себе очень интересно), а сколько и как следует вылавливать рыбы, чтобы при получении максимальных выловов не только не

* Настоящая статья является обзором работ ряда авторов.

подорвать промысловые запасы, но и не нарушить всей экологической системы водоема.

Для решения подобных задач одних словесных описаний или анализа фактов мало, нужно понимание и описание процессов, происходящих в экологических системах.

Стремительное развитие информационных технологий и имитационного моделирования, в первую очередь, в сочетании с требованиями экологического прогнозирования сделало моделирование рабочим методом экологии. В связи с повышением интереса лимнологии к вероятностным процессам существенную роль начинает играть моделирование, основанное на имитации жизненных циклов отдельных особей.

Задача лимнологии XXI в. – это создание теории динамики экологических систем, способной к практическому прогнозированию не только в обычных, но и в экстремальных ситуациях. Необходимо также учитывать принцип omnipotentiности (Налимов, 1983), суть которого сводится к тому, что существуют факторы, которые вчера или сегодня не играли значимой роли в динамике той или иной экосистемы, но могут оказывать решающее воздействие на нее в будущем. Сегодня уже мало изучать влияние человека на экосистемы, требуется переход к изучению взаимодействия человека и природы. Это породило представление об эколого-экономических и даже социо-эколого-экономических системах. В последние десятилетия интерес к проблеме управления экологическими системами значительно возрос, от теоретических соображений исследователи начали переходить к вопросам оптимального управления конкретными природными водными объектами. Задаче оптимального управления экосистемой озера можно представить нахождение таких значений управляемых воздействий на экологическую систему (\bar{U}), которые бы обеспечили при определенных неуправляемых воздействиях на экосистему (\bar{F}) достижения максимума некоторой функции эффективности (Ω) в течение достаточно длительного промежутка времени (Atkinson et al., 1997). При этом экологическое моделирование становится из абстрактного научного направления, каким оно было 20–30 лет назад, прикладной дисциплиной, без применения которой немислимо решение практических задач сохранения и использования природных ресурсов. Возрастает роль наблюдений (мониторинга) и целенаправленных научных исследований при подготовке задач управления озерной экосистемой. При рассмотрении проблемы управления ресурсами озера предполагалось, что состояние объекта управления полностью известно. Такая ситуация, пользуясь терминологией теории игр, называется игрой с природой при полной информации. Однако в лимнологической практике дело обстоит совсем не так. О состоянии управляемой экосистемы можно судить только по данным наблюдений, которые никогда не быва-

ют полными и исчерпывающими. Более того, в описании экологической системы озера много величин, вообще не поддающихся непосредственному измерению. Некоторые важные сведения для понимания функционирования озерной экосистемы и прогнозирования ее поведения обычно определяют на основе фундаментальных лимнологических исследований, и в первую очередь, с использованием разных моделей.

В конце XX в. обстоятельства привели к осознанию обществом необходимости нового отношения к своей среде обитания, к необходимости экономически оценивать нагрузку на природную среду, создаваемую в результате экономической деятельности общества, и как следствие – наряду с правовыми и административными методами использование экономических методов регулирования.

Ключевой вопрос управления системой: как регулировать процесс поступления загрязнений, как это сделать с использованием экономических механизмов. Используя экономические механизмы, важно выбрать основные цели. Для решения проблем регулирования экосистем, внедрения экономических механизмов были разработаны такие определяющие понятия, как экономическая оценка природных ресурсов (ЭОПР), экономический ущерб от загрязнения природной среды (ЭУЗ), экономический и социальный оптимумы загрязнения (ЭОЗ и СОЗ).

Далее подробнее рассмотрим те современные методы, которые уже либо вошли в практику лимнологи, либо еще разрабатываются.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

В течение нескольких столетий география была одной из самых знаменитых и уважаемых наук. Со временем наука, занимавшая передовые позиции, «уступает» место астрономии, химии, физике, космологии, экологии и постепенно распадается на ряд частных дисциплин. В настоящее время наблюдается заметное увеличение интереса к географии через широкое использование географических информационных систем. В методическом арсенале географии важнейшее место занимает карта – как самый убедительный способ выражения географического и в том числе географо-экологического исследования. Развитие современных информационных технологий, накопление разнообразных данных о природной среде и совершенствование методов современной географии и ее раздела картографии привели к созданию нового направления – Географические Информационные Системы, или Геоинформатика (ГИС). Развитие цифровой картографии, методов и средств информатики, компьютерной графики, дистанционных аэрокосмических средств, глобальной спутниковой навигационной системы – GPS и моделирование привели к созданию современных геогра-

фических информационных систем. Как образно представлено в работе Берлянда, ГИС-технологии в географии – это одновременно телескоп, микроскоп и компьютер. ГИС повышает интерес к географическому образованию, дает новый инструмент познания мира. География становится высокотехнологичной наукой. И в наше время любой географ должен владеть методами ГИС, поскольку это должно быть его обычным инструментом. Можно считать, что ГИС – это элемент современной культуры исследователя. Имея цифровые карты и инструмент-программы для работы с картой, можно составить необходимые тематические карты (водных объектов, лесов, дорог и др.). В ГИС имеется определенный набор правил и методов, которыми необходимо руководствоваться. Среди них это последнее представление данных. На рис. 1 показана карта Карелии, составленная по полной цифровой карте, из которой выделены слои: водные объекты, рельеф, границы. Из этой карты исключены такие слои как дороги, населенные пункты, растительность и др. Таким образом, подбирая необходимые слои из топографической основы и добавляя собственные предметные слои, создаются тематические карты (лесов, водных объектов, болот и др.).

ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННЫХ СЪЕМОК В ГИС

Дистанционные методы изучения природной среды имеют достаточно длительную историю использования. Первые дистанционные наблюдения выполнялись с аэростатов, воздушных шаров, самолетов.

С развитием космонавтики все шире начали использовать дистанционные аэрокосмические средства. Измерения, наблюдения с низко- (самолетов, вертолетов, шаров-зондов) и высоколетающих (автоматических аппаратов-спутников, пилотируемых, управляемых – космических станций типа советской–российской станции «Мир», прекратившей свою работу несколько лет назад, международной МКС), находят все более широкое применение при получении картографической продукции, обновлении топографических карт, при наблюдении за опасными явлениями природы, такими как лесные пожары, наводнения, разливы нефти, а также при мониторинге природной среды. С автоматических летательных аппаратов-спутников оказалось возможным обеспечить регулярность обследованных территорий, повторяемость и большую обзорность. Важным свойством аэро- и космических снимков является их документальность, беспристрастность, отражающие реальную картину географо-экологического состояния территории.

По обзорности космические снимки классифицируются так же, как и ГИС:

- **глобальные** (планетарный масштаб) – характерные размеры территории $L = 10\,000$ км;
- **региональные** – $L = 3\,000$ км;
- **локальные** – $L = 100 - 500$ км.

Информация со спутников-автоматов передается на Землю по запросу или автоматически по различным каналам связи. Например: по телевизионным, что *обеспечивает своевременность, мгновенность передаваемой информации*. Сведения с фотографических спутников не дают возможности получения оперативной информации, хотя фотографические методы (панхроматические снимки) обладают высоким разрешением, широко используются при обновлении карт. Под *разрешением* понимается возможность определения особенностей объекта. Так, например, фотографические методы позволяют определять объекты размером до 1–2 м, а телевизионные, сканерные съемки со спутников – 10–200 м, а для определенных целей, например для прогноза погоды, применяют снимки с разрешением 1 км. В последние годы стало возможным получение информации из различных центров, например, американских НАСА, NOAA, центров погоды www.gis-meteo.ru, Института космических исследований – www.iki.ru, и особенно популярным стал в последние годы Интернет-портал <http://earth.google.com/userguide/v4/index.html>. На этом портале можно получить космические снимки территории с разрешением около 2–10 м.

Большим разрешением на местности обладают данные, полученные с низколетящих носителей – самолетов, вертолетов. Однако их недостаток состоит в том, что нельзя выполнять съемки при сильной облачности, тумане, плохой (нелетной) погоде и обследовать одновременно большие территории, например, регионального масштаба, в частности, Карелию.

Дистанционные методы подразделяются на активные, основанные на изучении рассеянного и отраженного сигналов, посланных с аппарата, а также пассивные, базирующиеся на приеме естественного излучения в широком диапазоне спектра электромагнитных волн.

С совершенствованием спутников, управляемых космических станций происходит модернизация, внедрение новых перспективных методов измерения. В диапазоне от

0,1 мкм до 10–15 мкм, что составляет диапазон от видимого до теплового, обычно выполняется фотографическая съемка, многоспектральная фотографическая, телевизионная при помощи сканирующей аппаратуры (рис. 2).

Сканер, установленный на спутниках, представляет собой качающееся зеркало, от которого отраженный от земной поверхности сигнал передается на электронные носители. Принятый на спутнике сигнал затем переводится в цифровую форму для хранения в бортовой ЭВМ и передаче информации на Землю. В этом диапазоне измерений большое влияние

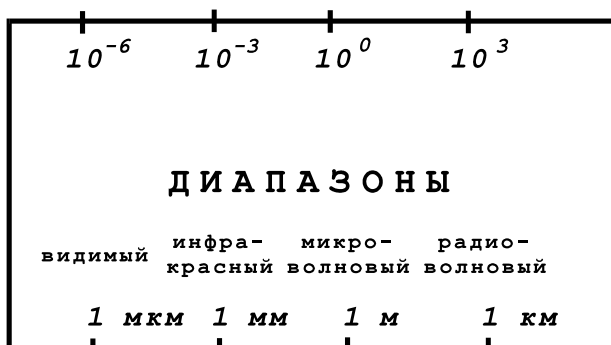


Рис. 2. ДИАПАЗОНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

на полезный сигнал оказывает состояние атмосферы: облачность, наличие водяных паров, пыли. Поэтому при дистанционных съемках с целью получения «полезного» сигнала используют так называемые «окна прозрачности» атмосферы, т. е. диапазоны, на которых меньше ослабляется полезный сигнал.

Для выполнения «всепогодных» и в любое время суток дистанционных съемок используются радиолокационные методы. Особенно актуальны эти виды дистанционных наблюдений для Северо-Западного региона России, который большую часть года покрыт облаками. Например, очень эффективны такие съемки для изучения ледяного покрова на озерах и Белом море. Эти данные используются для определения времени навигации, проводки судов в ледяных полях.

Классификации космической информации, используемой для разных целей, приведены в работах Л. Е. Смирнова, К. Я. Кондратьева, Ю. Ф. Книжникова, В. И. Кравцовой. Приведем одну из них:

- **По спектральному составу:** снимки в видимом, тепловом инфракрасном и радиодиапазонах;
- **По масштабу:** мелкомасштабные от 1 : 10 000 000 до 1 : 100 000 000; среднемасштабные – 1 : 1 000 000–1 : 10 000 000; крупномасштабные – крупнее 1 : 1 000 000;
- **По разрешению:** очень низкого разрешения – менее 10 000 м; низкого – 1000 м; среднего – 100 м; высокого – 20–50 м; сверхвысокого – 1 м;
- **По обзорности:** глобальные (планета) – L = 10 тыс. км; региональные (материк, регион) – L = 3 тыс. км; локальные (часть региона) – L = 100–500 км, где L – ширина полосы снимка.
- **По повторяемости съемки:** многократные внутрисуточные – метеорологические спутники типа «Метеор», NOAA (съемки несколько раз в сутки); многократные – через несколько суток, например SeaWiFS, ERS, многократные внутригодовые – природоресурсные спутники типа «Космос-1939», «Landsat» с периодом прохождения через одну и ту же точку местности каж-

дые 16–18 суток. Имеются также спутники и управляемые аппараты, в которых повторяемость съемки может быть задана произвольно.

Высота орбиты ИСЗ (820–1200 км) обеспечивает прием информации при нахождении спутника в зоне, ограниченной окружностью радиусом 3000–3500 км. Определение текущих координат ИСЗ для наведения антенны осуществляется с помощью специальной программы. Получение исходных данных об орбитальных характеристиках спутника NOAA организовано через службу слежения за космическими аппаратами NORAD (США) по электронной почте. При использовании дистанционных методов изучения природной среды большое значение имеют наземные подспутниковые данные. При выполнении съемок особо важно точное определение координат, которые с высокой точностью можно получить специальными глобальными спутниковыми системами позиционирования – GPS (*Global Position Systems*). В России в качестве источника информации наиболее часто в практике работ используется бортовая аппаратура метеорологических искусственных спутников Земли (ИСЗ) серий NOAA (США) и «Метеор» (Россия), а также природоресурсных спутников типа «Космос». Кроме вышеперечисленного, бортовая аппаратура передает на Землю большой объем информации, имеющий следующие области применения: картография и геодезия, экология, метеорология, сельское и лесное хозяйство, озероведение и океанология. Кроме метеорологических ИСЗ, в космосе функционирует система российских природоресурсных спутников («Космос», «Алмаз» и другие) и зарубежных («Landsat», «Spot»). Эти аппараты производят съемку поверхности Земли, зондирование атмосферы в широком диапазоне волн электромагнитного спектра, и их аппаратура обладает разрешением на местности от единиц до сотен метров. Прием такой информации осуществляется на специализированных пунктах приема, и распространяется она на коммерческой основе. Разрешение аппаратуры с этих спутников – около 40 м.

В настоящее время на орбитах функционируют несколько ИСЗ серий: NOAA и «Метеор». Минимальные линейные размеры на поверхности Земли, определяемые (разрешение) бортовой аппаратурой этих спутников, составляют 1–4 км. На рис. 3 приведен спутниковый снимок Карелии, полученный в зимний и летний периоды со спутника серии IRS (а) и Ресурс-О1 (б).

На рис. 3, а, полученном зимой, видно, что Онежское озеро полностью покрыто ледяным покровом, а Ладожское имеет много разводий, трещин, которые обусловлены более интенсивным воздействием внутриводоемных термодинамических и метеорологических процессов по сравнению с влиянием таковых на Онежское озеро. Белое море, как и Ладожское озеро, редко полностью покрывается льдом,

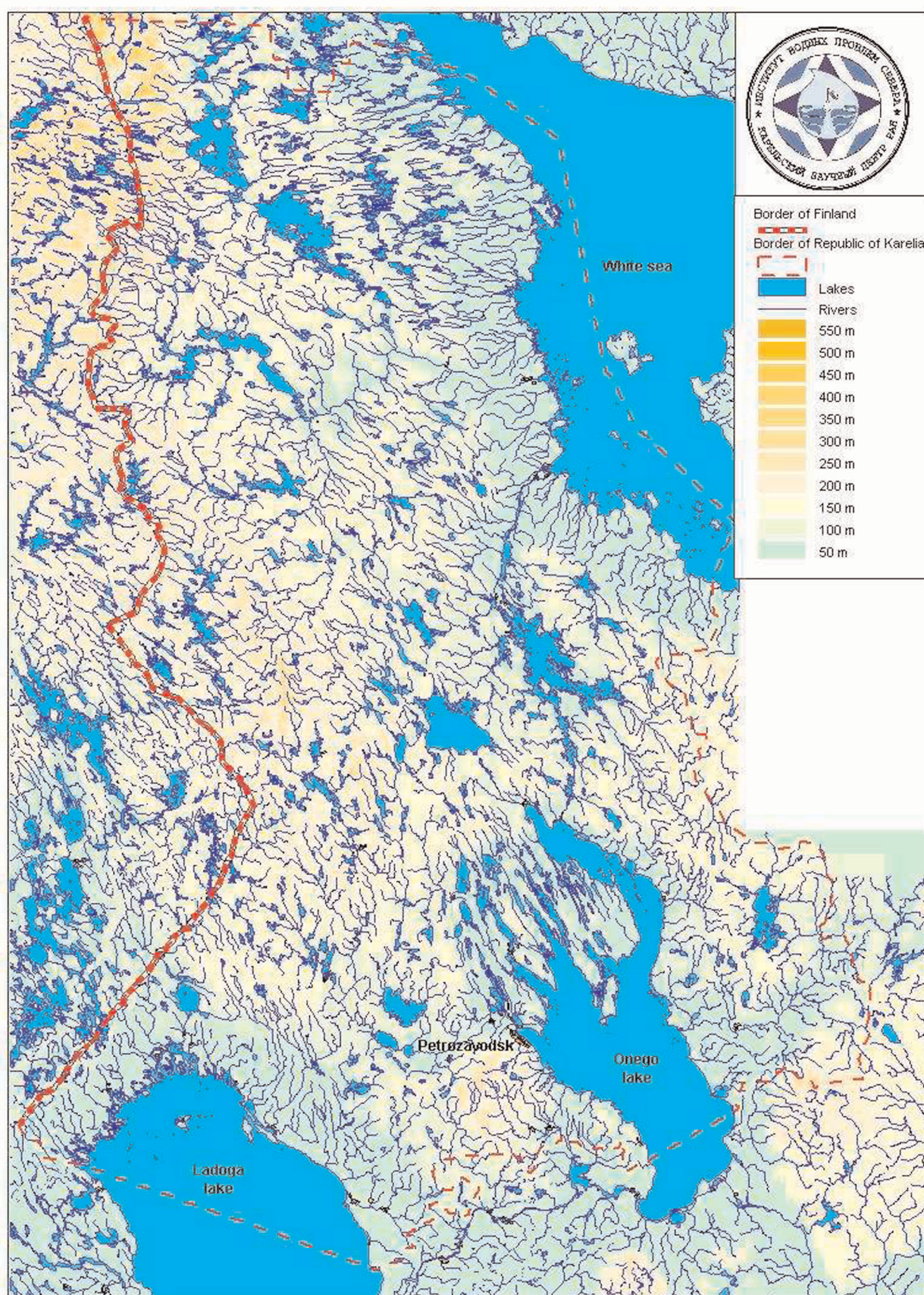
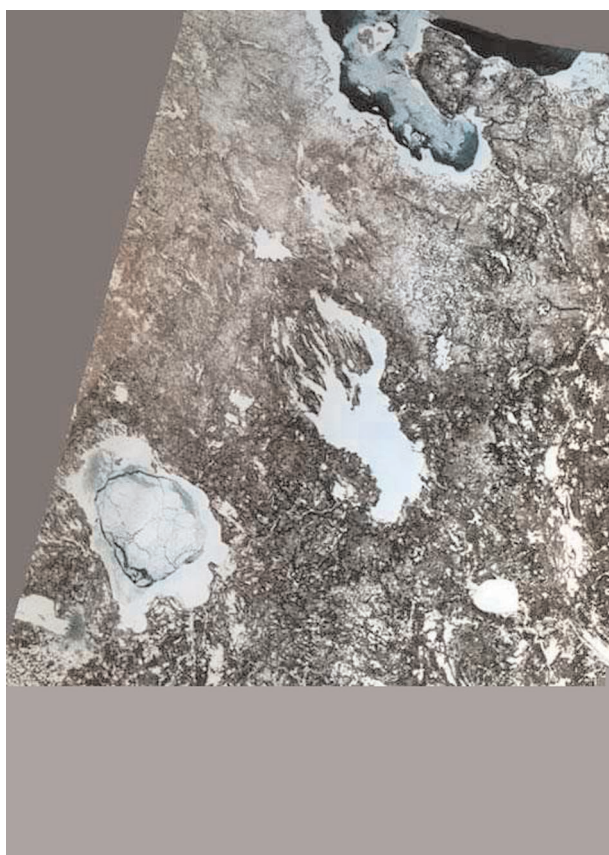


Рис. 1. КАРТА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И РЕЛЬЕФА КАРЕЛИИ

А)



Б)



Р и с . 3 . КАРЕЛИЯ ИЗ КОСМОСА: ЗИМОЙ (А) И ЛЕТОМ (Б). НА ЛЕТНЕМ СНИМКЕ НАНЕСЕН СЛОЙ ГРАНИЦ РАЙОНОВ КАРЕЛИИ

так как здесь очень сильны приливные явления, апвеллинги (подъемы вод), приводящие к постоянному разрушению ледяного покрова, в особенности в районе Соловецких островов (рис. 3, а).

Современная схема постановки наблюдений со спутников в сочетании с другими средствами наблюдений дана на рис. 4.

Принимаемая информация со спутников используется для:

а) прогноза погоды (при необходимости возможен прием изображения земной поверхности несколько раз в сутки, что позволяет следить за динамикой атмосферных фронтов);

б) оценки ледового покрова озер и морей, проводки судов, определения времени начала навигации;

в) определения температуры воды крупных водоемов озер и морей для решения разнообразных научных и прикладных задач, определения фронтальных зон, апвеллингов, вихрей, течений (см. рис. 5).

Сканерные снимки в видимом 0,5–0,8 мкм и тепловом диапазонах 11,5–12,5 мкм со спутников серии NOAA и «Метеор» с разрешением 1–4 км используются в Гидрометеоцентре для прогноза погоды, а в Карельском научном центре – для разнообразных исследовательских целей: при изучении Ладожского и Онежского озер, биоразнообразия в пограничной полосе между Республикой Карелия и Финляндией, проведения дистанционного мониторинга водоемов и водосборов Карелии. В последние годы возможности дистанционных методов существенно возросли, теперь имеется возможность определять не только такие яркие явления, которые проявляются на поверхности водоемов, такие как фронтальные зоны, вихри, циркуляции, волны, состояние ледового покрова, но и особенности проявления химико-биологических процессов, в частности, концентрации хлорофилла-а, цветение водоемов, концентрацию взвесей, растворенной органики. Приведем такие примеры для Белого моря и крупнейшего озера Европы Ладожского. Эти данные, получаемые только с научно-исследовательских судов в небольшом числе точек водоема, стало возможным получить по всему водоему с высоким разрешением. В частности, для Ладожского озера можно получить информацию о параметрах качества воды примерно в 1000 точек, точнее пикселей (элемент снимка размером 1–4 км).

В последние годы существенно расширились возможности дистанционных методов. Среди дистанционных методов, разработанных в последнее время, особое внимание заслуживают: метод дистанционной оптической пространственно-частотной спектроскопии, новые радиолокационные методы, в том числе методы многочастотной радиоволнографии, новые методы лазерного зондирования, методы некогерентного импульсного зондирова-

ния, многоспектральные, гиперспектральные и другие. Использование этих методов позволяет решать множество современных научных и практических задач изучения процессов и явлений в толще и приповерхностном слое, выявлять ареалы сточных вод, оценивать концентрацию взвесей, загрязняющих веществ, определять характеристики поверхностного волнения, скорость ветра, уровень морей и озер, топографию дна и берегов (Бондур, 2004; Кондратьев, Крапивин, 2003).

АНАЛИЗ ДАННЫХ В ГИС

Как отмечают *А. В. Кошкарёв* и *В. С. Тикунов* (1993), анализ данных, являясь одним из модулей ГИС, представляет собой ядро ГИС-технологий. Широко используется в ГИС статистический анализ, в частности, при расчетах плотности населения, их национального состава, оценки водопотребления в регионах и т. п. В практике очень часто необходимы знания и о временной изменчивости данных: по численности населения, изменений характеристик климата (температуре воздуха, осадков, стоке рек и других) и выявления закономерности проявления трендов (увеличения или падения температуры воздуха), определения цикличностей, например, связанных с колебаниями поступления солнечной радиации, изменениями положения оси вращения Земли, т. е. требуется выполнить вероятностный анализ данных (корреляционный, спектральный).

КЛАССИФИКАЦИЯ В ГИС

Важной математической операцией в геоинформационных системах является классификация объектов. Классификация – это система распределения объектов, явлений, процессов и понятий по классам в соответствии с определенными заданными признаками. Например, используются классификации распределения населения по национальному составу, ландшафтам и т. п. Важно при классификации правильно задать, выбрать интервалы для определенных классов. Для исключения излишних деталей с картографических источников, например, космических снимков, применяют так называемый метод главных компонент, при котором представляют исходную информацию в сжатом виде и отражают ее в виде карт-распределений. В этом случае показывают группы объектов, имеющие сходные значения. При соотношении этих кластерных групп с единицами классификационных систем получится еще более сжатая информация.

Основные требования к классификации сводятся к следующему:

- систематизация сведений об объектах или самих объектов в классы, обладающие существенными свойствами или признаками;

- единое основание систематизации сведений об объектах или объектов на каждом уровне классификации;
- соразмерность организации элементов, их взаимоисключаемость;
- независимость оснований систематизации на разных уровнях;
- устойчивость классификации с точки зрения появления новых объектов и задач использования;
- учет традиций, совмещаемость с иными общепринятыми классификациями (генетическими, типологическими, морфологическими, динамическими и т. п.).

Предметную область классификации объектов составляют природные, социально-экономические (общественные), природно-социально-экономические (природно-общественные) объекты, процессы и взаимосвязи, относящиеся к географической оболочке Земли в целом и ее компонентам: атмосфере, литосфере, гидросфере, а также органосфере, педосфере, социосфере и техносфере.

Классификация применяется в связи с необходимостью устранения второстепенных деталей, в противном случае воспринимать действительность оказывается очень сложно. Особенно наглядна операция классификации космических изображений для их дешифрирования.

Классификации космических снимков предшествуют такие важные действия как геометрическое и яркостное преобразование снимков, определение соответствия яркостных и других характеристик снимков объектам на местности (например, яркость водных объектов, лесных массивов, болот и прочих). *Геометрическое преобразование* необходимо в связи с тем, что снимки имеют искажения, их необходимо привязать к географическим координатам по опорным точкам и трансформировать изображения. Данная операция не является простой и выполняется специалистом-географом. Для этих целей применяется геоинформационная программа. *Яркостные преобразования* используют при устранении помех, для более четкого выделения контуров объектов, контрастирования.

Дешифрирование на ЭВМ может выполняться как автоматически, так и с участием специалиста в интерактивном режиме, при этом повышается результативность процесса. Для автоматической классификации объектов используются методы теории распознавания образов. При дешифрировании цифровых космических снимков используют знания о спектральных признаках объекта, как набор спектральных яркостей.

МОДЕЛИРОВАНИЕ В ГИС

Одна из важных функций ГИС – моделирование. На теории моделирования базируется метод теоретического исследования.

Для геоинформатики выделяют следующие разновидности моделей:

- не подлежащих картографированию, для которых не важна пространственная привязка данных;
- которые обязательно используют пространственное положение объектов, явлений.

К первому классу моделей часто относят различные статистические расчеты, анализ временных рядов, пространственных данных – вычисление среднего значения (математического ожидания), дисперсии, или среднеквадратического отклонения, коэффициентов вариации, корреляционных и регрессионных зависимостей, дисперсионный и дискриминантный анализы. Весьма популярны корреляционный и спектральный анализы временных рядов наблюдений, например, анализ данных температуры воздуха, колебаний уровня озер.

В последние годы в системе наук о Земле широко применяют методы имитационного моделирования, при которых воспроизводится поведение сложных систем. На первом этапе имитируются известные состояния системы. Такие модели используются как для глобального уровня, например, оценки влияния парниковых газов на изменение климата Земли, так и регионального.

МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЛИМНОЛОГИИ

Краткое представление об экосистеме озер

ГИДРОТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ В ЭКОСИСТЕМЕ

Прежде чем ознакомить читателя с основными подходами в моделировании водных систем представим основные процессы и явления, которые воздействуют на внешний и внутренний водообмен, определяющий поведение экосистемы. Основные факторы, определяющие динамику озерных вод, можно классифицировать на внешние и внутренние. Внешние факторы подразделяются на постоянно и временно действующие. К постоянно действующим факторам относятся вращение Земли вокруг своей оси, приливообразующие силы, которые по сравнению с другими определяющими факторами не оказывают заметного влияния на формирование динамики вод в озерах. Представим схематично основные гидрофизические процессы в озерах (рис. 6).

Долгопериодные климатические колебания с временными масштабами 20–30 и 6–8 лет, которые проявляются в изменчивости уровня и элементов водного баланса (ЭВБ) озер, также оказывают воздействие на протекание гидродинамических процессов. Колебания уровня озер с этими временными масштабами отмечены на озерах Онежском, Ладожском, Сайма, Балхаш, Чаны и на Великих Американских озерах.



Рис. 4. СОВРЕМЕННАЯ СХЕМА ПОСТАНОВКИ НАБЛЮДЕНИЙ СО СПУТНИКОВ В СОЧЕТАНИИ С ДРУГИМИ СРЕДСТВАМИ НАБЛЮДЕНИЙ (ВЫПОЛНЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАБОТЫ В. Г. БОНДУРА, 2004)

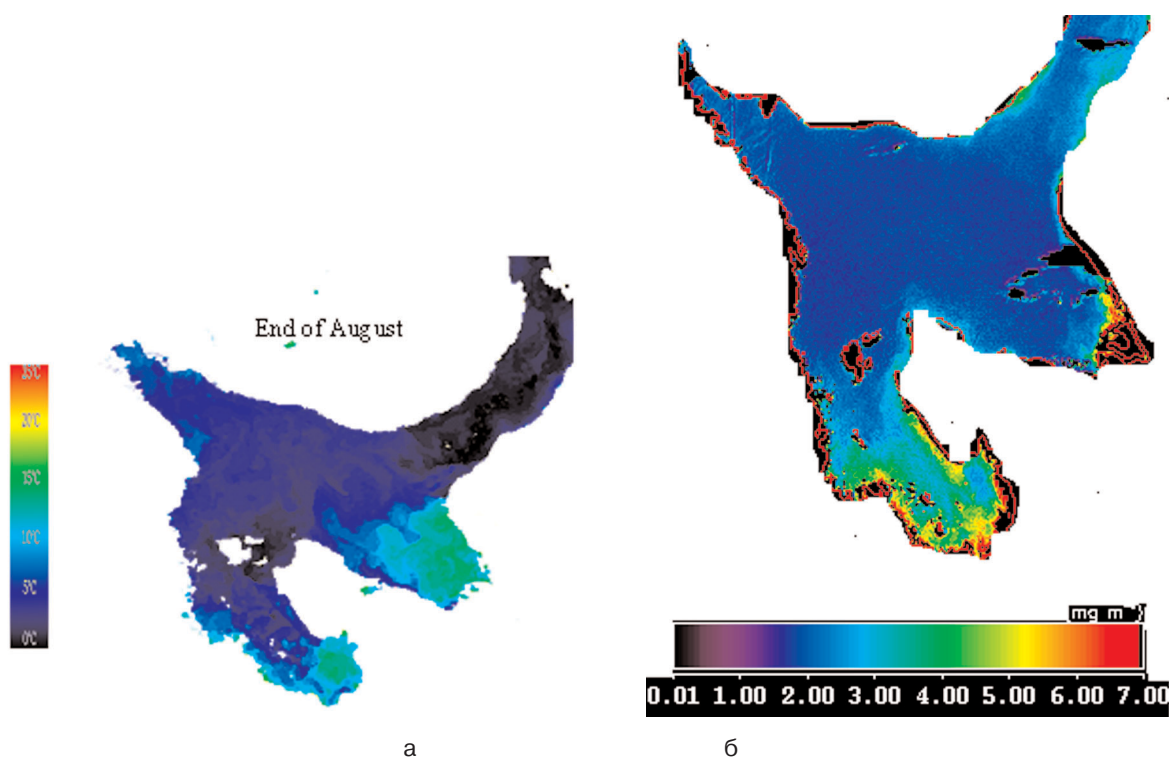


Рис. 5. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ (а), КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА-А (б) В БЕЛОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

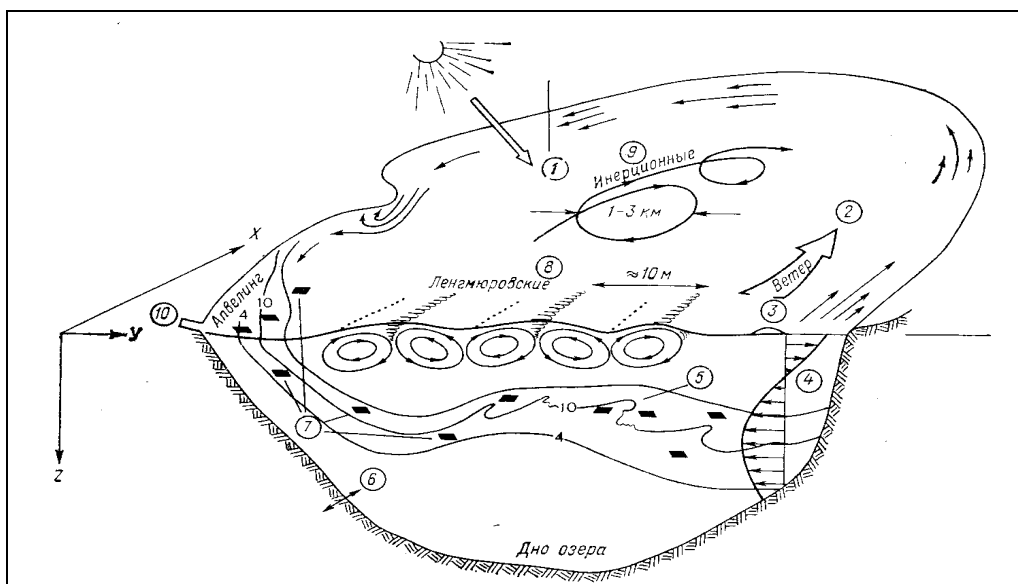


Рис. 6. СХЕМАТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ В ОЗЕРАХ:

1 – солнечная радиация, 2 – напряжение трения ветра, 3 – поверхностные волны, 4 – сдвиг скорости потока, 5 – внутренние волны, 6 – обмен вода-дно, 7 – турбулентность, 8 – циркуляции Ленгмюра, 9 – инерционные течения, 10 – речные потоки, апвеллинги. Стрелками показано направление течений

Эти долгопериодные колебания отражаются на изменчивости притока и стока рек, в колебаниях уровня озер, меняя при этом форму и размеры водоема, что может привести к изменению особенностей циркуляции вод в озере, водообмена и перемешивания вод между отдельными его частями и в конечном итоге к изменению экосистемы озера. Другой важный фактор формирования течений в озерах – это нерегулярные, непостоянно действующие внешние источники, к которым относятся напряжение трения ветра, локальный термодинамический обмен через поверхность водоема, сток рек. Именно эти факторы определяют вероятностный, стохастический характер изменчивости динамики озерных вод.

Внутренними источниками динамических процессов являются неоднородности полей плотности, а также влияние морфометрии дна и берегов. Взаимодействие внешних и внутренних факторов приводит к формированию сложного спектра динамики вод с несколькими максимумами. Характерные минимальные пространственно-временные масштабы поверхностных волн в озерах ограничиваются капиллярными волнами. В крупных озерах минимальные частоты внутриволновых движений ω могут быть меньше локальной инерционной частоты f . Среди низкочастотных наблюдаются относительно долгопериодные (несколько суток) волны Кельвина и топографические.

В озерах наблюдаются не только волновые движения, но и вихри с пространственными масштабами, сравнимыми с размерами бассейна или его частей, моно- и диполи или грибовидные образования, меандры (особенно на

фронте – термобаре), струйные течения, шлейфы и факелы вод разнообразного происхождения (в том числе образованные речными потоками).

Спектр наблюдающихся в озерах вихревых и волновых движений широк и простирается от микровихрей, приводящих к диссипации энергии, до крупномасштабных вихрей – циркуляции, охватывающих все озеро. Для наблюдения отдельных явлений в озерах (вихрей, фронтов, циркуляции, волн) привлекаются все имеющиеся средства, контактные и дистанционные, в том числе и спутниковые. А вот для теоретического описания термогидродинамических процессов используются двух- и трехмерные математические модели.

Выполненные на основе измерений обобщения показали, что максимальные временные масштабы термогидродинамики вод в озерах ограничиваются движениями с временными масштабами от нескольких суток до нескольких десятков суток. В самых крупных озерах мира нет постоянных циркуляций, подобных океаническим, таким как Гольфстрим и Куроисио. Озеро, с точки зрения динамики его вод, не имеет климата. Динамика вод озера представляется суперпозицией явлений (волновых, вихревых) синоптического и меньшего масштабов, хотя климатическая изменчивость может проявляться в колебаниях уровня и элементов водного баланса. Вклад различных факторов в формирование динамики вод озер варьирует в зависимости от формы и размеров бассейна, особенностей стратификации, изменчивости полей ветра. Оказалось, что в одних пространственно-временных масштабах формируются

устойчивые динамические структуры, а в других такие структуры неустойчивы. Это так называемое явление самоорганизации геофизических полей или синергетика.

Особенности биологических процессов

Как всякая сложная система, экологическая система озера обладает свойством *иерархичности*. Например, в модель круговорота вещества и энергии зоопланктон может входить в виде одного элемента, характеризующегося одной переменной – суммарной биомассой зоопланктона.

В озерной экологической системе выделяются следующие основные биотопы: *пелагиаль*, *литораль* и *бенталь* (рис. 7). Под пелагиалью понимается вся толща водной массы озера, а под бенталью – дно водоема. Все организмы, обитающие в озере, называются *гидробионтами*. Гидробионты, обитающие в пелагиали и лишенные возможности активно перемещаться в водной среде, составляют *нектон*. Гидробионты, обитающие в пелагиали, которые активно перемещаются в водной среде, составляют *нектон*. Гидробионты, обитающие на дне водоема, составляют *бентос*. Существует еще группа организмов, которые обитают на самой поверхности озера, на самой границе между водой и атмосферой. Эта группа называется *плейстон*. Озерная экологическая система, как и всякая экологическая система, характеризуется тем, что для ее существования необходимо поступление энергии, т. е. с точки зрения термодинамики, озерная экологическая система – это всегда открытая система. Источником энергии для озерных экосистем, как правило, является энергия солнечной радиации, которая обеспечивает создание нового органического вещества при помощи реакции *фотосинтеза*. Не исключено использование в озерных экосистемах энергии химичес-

ких реакций (явление *хемосинтеза*), но это редкое исключение – например, формирование гидротермальных экосистем, подобных тем, что найдены на дне океана, возможно, происходит на дне Байкала.

Основными продуцентами в крупных озерных экосистемах являются одноклеточные водоросли – *фитопланктон* (Винберг, 1981). В небольших озерах существенную роль в образовании первичной продукции могут играть многоклеточные макрофиты и водоросли (например, камыши или тростники, растущие по берегам озер, рдесты или хары, обитающие в воде на небольших глубинах). Это так называемые *макрофиты*. К продуцентам относится и *перифитон* – сообщества мелких организмов, покрывающих тонкой пленкой стволы макрофитов, камни и другие предметы в литорали озера. Фитопланктон в озерах обычно представлен довольно сложным сообществом, которое насчитывает в своем составе сотни видов. Основную роль в фитопланктонных сообществах играют *диатомовые* и *синезеленые* водоросли. Диатомовые водоросли имеют кремниевый скелет и для своего развития, помимо обычных биогенных элементов – азота и фосфора, требуют еще и кремний.

Синезеленые водоросли, строго говоря, даже не водоросли, относятся к прокариотам. Однако это не мешает им играть большую роль в жизни водоема, поскольку они очень быстро размножаются при достаточно высокой температуре воды, обладая, при некоторых условиях, свойством непосредственного усвоения азота из растворенного в воде воздуха. Кроме этого, некоторые синезеленые имеют газовые вакуоли, что позволяет им совершать суточные вертикальные миграции, а это дает им возможность эффективно использовать световые и биогенные ресурсы водоема. Заметим, что многие синезеленые и продукты их распада обладают токсическими свойствами, что очень существенно при оценке качества воды. Теперь

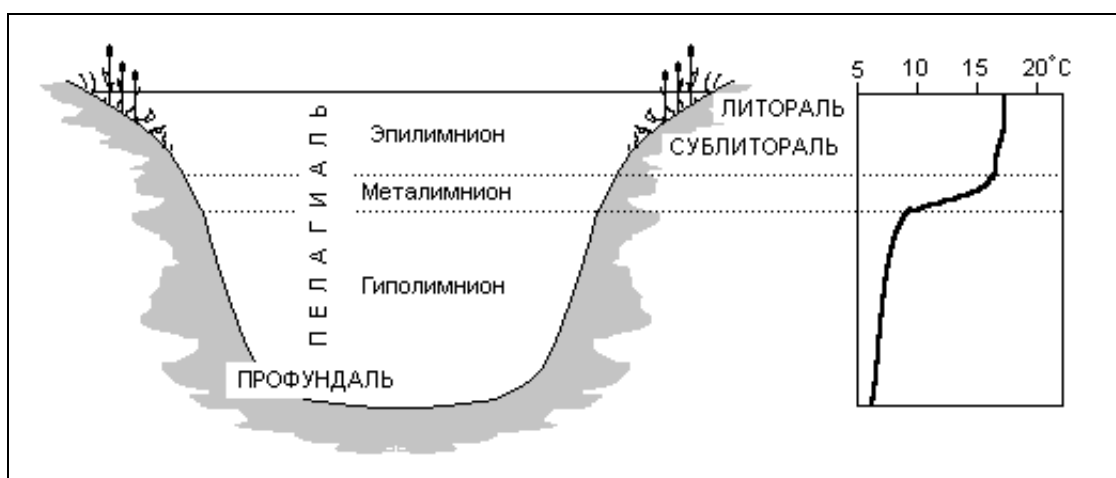


Рис. 7. ОСНОВНЫЕ ЗОНЫ ОЗЕРНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ. В ЛЕВОЙ ЧАСТИ РИСУНКА – ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВО ВРЕМЯ ЛЕТНЕЙ СТАГНАЦИИ

перейдем к консументам, т. е. потребителям первичной продукции озерного водоема. Непосредственно клетки фитопланктона потребляются планктонными фильтраторами, основную массу которых представляют мелкие ракообразные. По числу видов зоопланктонные сообщества уступают фитопланктонным. Сложную и важную для понимания всей динамики озерной экосистемы проблему представляет взаимодействие фито- и зоопланктона (Винберг, 1981). Динамика развития озерного зоопланктона осложняется его постоянными перемещениями вместе с водными массами, а также суточными и сезонными вертикальными миграциями.

Сообщества рыб в озерах формируются далеко не случайным образом. Например, если в каком-либо озере Северо-Запада России будет обнаружена красноперка или линь, то можно с полной уверенностью утверждать, что в этом же озере обязательно будут найдены окунь, плотва и щука (Меншуткин и др., 2004). А вот обратное утверждение совершенно не верно – наличие в озере окуня не несет почти никакой информации о структуре ихтиоценоза, который может содержать еще десяток других видов рыб, или окунь будет единственным представителем ихтиофауны данного водоема. Изучение ихтиофауны озер базируется прежде всего на результатах промыслового и научного лова различными типами орудий лова. После очень краткого и далекого от полноты рассмотрения отдельных частей озерной экологической системы перейдем к рассмотрению этой системы как единого целого. Идея о том, что озеро представляет собой некоторый «микрокосм», организм высшего порядка, восходит к концу XIX началу XX в. Только с развитием общей теории систем и появлением компьютерных технологий исследования и управления такими системами представление об озере и его водосборе как о единой целостной системе получило конструктивное развитие.

Математическое моделирование в последнее время стало неотъемлемой частью решения большинства сложных проблем, в том числе и водных. Можно выделить три подхода к моделированию экосистем:

1. Стохастический метод или модели «черного ящика». Большая роль здесь принадлежит оценке экспериментальных данных о состоянии системы.

2. Детерминистический имитационный метод для изучения экосистем (использование классических теоретических методов с использованием дифференциальных уравнений).

3. Кибернетический метод (подход к экосистеме как к самоорганизующей системе). Наибольшее распространение получили методы математического моделирования, использующие аппарат дифференциальных уравнений, в том числе уравнений математической физики, математической статистики и теории вероятностей, методы теории игр. Математическое

моделирование своими истоками обязано физическим наукам, и первые модели, основанные на большом наблюдательном материале, были получены в физике (Законы Кеплера, Ньютона). В настоящее время моделей, построенных и проверенных на огромном наблюдательном материале, в современной физике достаточно много. В то время как, несмотря на развитие компьютерной техники, методов численного моделирования, довольно скромным остается развитие моделей для водных систем. Метод математического моделирования сложных систем основан на так называемом принципе самоорганизации моделей на ЭВМ (Ивахненко, Юрачковский, 1987). В этих моделях осуществляется целенаправленный перебор постепенно усложняющихся структур моделей и их отбор по ряду целесообразных эвристических критериев. С использованием этих моделей выполнены расчеты экосистемы озер Байкал, Ладожское (Филатов, Филатова, 1990).

В последние годы научное исследование многих сложных систем обязательно включает элемент математического моделирования. Появление общей теории систем, вычислительной техники дало начало революционным преобразованиям в научном мировоззрении, и период использования системного подхода является новым этапом науки.

Широкое распространение получили методы **имитационного моделирования**. Имитационное моделирование можно определить как метод, основанный на использовании моделей, при котором множество переменных, область моделирования и уравнения всех элементов системы определяет исследователь на основании своих представлений. Построение физических моделей и является имитацией объекта моделирования. При моделировании сложных систем (экологических, экономических, социальных и др.) иногда относительно просто указать уравнения (модели) для одних компонент, а для других они могут быть неизвестны.

Обычный путь построения математической модели сложного объекта заключается в записи системы дифференциальных уравнений, с последующим решением численными методами на ЭВМ этой системы при различных начальных и граничных условиях. Известные закономерности для экосистем имеют в основном эмпирический характер. В связи с этим на широкое применение уравнений Вольтерра-Лоттки, описывающих отношение хищник-жертва, которые, хотя и представляются с виду строгими математическим, однако в силу большого числа предположений и допущений не имеют такой же математической точности и строгости в решении. Как пишет В. В. Меншуткин (1993), в этом случае используют имитационное моделирование, которое дает возможность описать водные системы «...ценой отказа

от общности и теоретической разработанности математических моделей в виде систем дифференциальных уравнений». При этом он отмечает, что трудно провести резкую границу между математическим и имитационным моделированием. В выборе имитационного подхода не последнюю роль играет относительно низкая точность гидробиологических данных, которая иногда позволяет оценить состояние элементов экосистемы лишь на качественном уровне. Модель обеспечивает ясность описания объекта при сокращении избыточных компонентов. Модель является своеобразным компромиссом между теорией и экспериментом, она используется для замены реальных процессов и систем.

Модели водных систем могут использоваться для:

- прогноза возможных состояний экосистемы при различных вариантах внешних воздействий;
- оптимизации управляющих воздействий, в частности оценки максимальных допустимых уловов;
- определения допустимых норм выбросов;
- оптимального объема наблюдений при мониторинге.

Таким образом, учитывая многоцелевое использование моделей, нельзя добиваться их универсализации. Имитационное моделирование предполагает свободу в способах описания зависимостей при отказе от общности и теоретической разработанности математических моделей в виде систем дифференциальных уравнений (Меншуткин, 1993). Например, при оценке уровня эвтрофикации (излишней продуктивности или старения экосистемы) озера, в особенности небольших, иногда достаточно использовать **точечную, балансовую модель**, в других случаях необходимо описать вертикальную, или пространственные неоднородности водоемов, в особенности крупных стратифицированных, таких как Ладожское и Онежское.

При имитационном моделировании экосистем озер возникает проблема совместного описания гидрофизических и химико-биологических процессов. Для описания широкого спектра термогидродинамических процессов разработана иерархия моделей. При этом воспроизведение химико-биологических процессов и явлений из-за ограниченности необходимой информации часто заканчивается описанием внутрисезонных, внутригодовых и межгодовых колебаний в водной системе. Для настройки, калибровки, параметризации (упрощение, задание явлений, которое трудно описать коэффициентами), проверки (верификации) модели задаются обычно те величины, которые наиболее надежно измеряются в природе (температура, прозрачность воды), а определяются на модели те, которые трудно определить в натурных экспериментах.

Для изучения функционирования и изменчивости водных систем имеется несколько подходов. Это и простое **балансовое описание** поведения систем, когда не описываются пространственные особенности внутриводоемных процессов, это простые одномерные модели; **блочный подход**, при котором водоем разбивается на отдельные боксы или камеры. В связи с этим вводится понятие бокса, т. е. такого объема воды, в котором распределение всех характеристик экосистемы полагается равномерным по объему и может быть заменено средними величинами. Процессы, происходящие внутри ячейки, называют процессами преобразования веществ, а процессы, в которых участвуют соседние ячейки, – процессами обмена. Процессы преобразования в экосистеме включают в себя такие явления, как фотосинтез, питание, рост, размножение, отмирание, дыхание, химические реакции, а также процессы обмена – течения, турбулентный обмен и диффузия, волны, миграции гидробионтов, перемещение частичек. В качестве компонента экосистемы или ячейки выбираются биомасса гидробионтов, концентрации растворенных и взвешенных веществ (концентрация хлорофилла, биомасса зоопланктона, численность рыб, концентрация нитратов и растворенных органических веществ). Важным при расчетах является шаг по времени изменения экосистемы. Выбор временного шага определяет значение задания скоростей обмена, течений, выбор коэффициентов перемешивания.

Причем водоем может быть разбит на ячейки (боксы) и по вертикали для описания особенностей экосистем как при гомотермии, так и при стратификации. При этом выделяют класс **многоуровневых моделей**. Озеро может быть разбито не только на верхний, средний и придонный (эпи-, мета- и гипolimнион), но, например, верхний слой озера может быть разделен еще на несколько слоев, это так называемые многослойные модели. Но возникает сложная проблема описания обмена между слоями.

И, наконец, в последние годы широко применяются **трехмерные модели в пространстве**, в которых наряду с моделированием крупномасштабных термогидродинамических процессов и явлений рассматриваются химико-биологические процессы, изменяющиеся во времени. Дадим несколько примеров разных подходов.

Моделирование экосистем

Представим себе область наших знаний в экологии озера в виде некоторой поверхности, которая разделена на две области – область нашего знания и область нашего незнания (Terra incognita в терминологии географических карт XVI в.), как это изображено на рис. 8 (Меншуткин, 2002). Существо метода моделирования

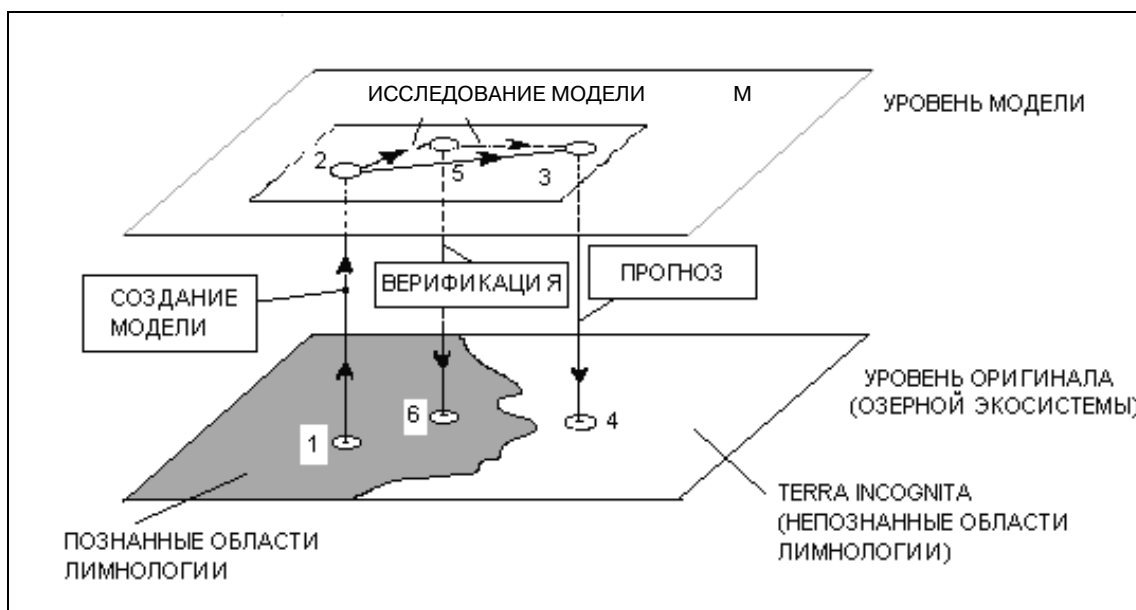


Рис. 8. ОБЩАЯ СХЕМА ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ (Меншуткин и др., 2004)

заключается в том, чтобы «вырваться» из методов и понятий одной области знания (в нашем случае экологии озер) и перенести решаемую проблему в другую область знания (плоскость М на рис. 8). В этой области существования модели границы познанных совсем другие, чем в исходной области знания. Например, в мире компьютерного моделирования масштаб времени может быть сжат в тысячи и сотни тысяч раз.

Чтобы хоть как-то обезопасить себя от крупных просчетов, существует процедура проверки или верификации модели. Сравнивая результаты моделирования с реальными данными, можно судить о качестве или адекватности модели описываемому процессу или явлению. Если модель успешно проходит несколько стадий проверки по разным параметрам, то она приближается к статусу научной теории. Например, движение жидкости, описываемое уравнениями Новье-Стокса, также стало признанной теорией. К сожалению, в лимнологии мы имеем дело с очень сложной системой – живыми организмами. В результате исследования модели можно получить не только сведения о состоянии характеристик, недоступных наблюдению, но и установить наиболее выгодный режим активного воздействия на систему. Таким образом, эффективность использования экосистемы становится зависящей от степени адекватности отображения состояния и динамических характеристик эксплуатируемой экосистемы в созданной модели. В свою очередь точность описания свойств реальной озерной экосистемы ее моделью зависит как от достоверности теоретических сведений, положенных в основу модели, так и от точности оперативной информации о состоянии реального озера.

Модель называется *концептуальной*, если она сформулирована при помощи средств естественного языка (например, русского или английского) и элементарных графических изображений (рис. 9).

Модель называется *аналоговой* или *физической* в том случае, когда она имеет материальное воплощение в виде реальной гидравлической, электрической или биологической системы. Применительно к водным экосистемам известны, например, модели популяций рыб, выполненные в виде гидравлических или электрических систем, или миниатюрные лабораторные аквариумные экосистемы (микросмосы). Модель называется *знаковой*, если она сформулирована на языке *математики* (в частности математической *логики*) или программирования. В последнем случае модель называется *имитационной*. Следует сразу оговориться, что между математическими и имитационными моделями нет четкой границы, поскольку очень часто модель формулируется на языке математики (например, как система дифференциальных или конечно-разностных уравнений), а исследуется методами компьютерного эксперимента. По тому, как представлено в модели время, модели делятся на *дискретные* и *непрерывные*. В первом случае в модели рассматриваются состояния системы только в некоторые моменты времени (например, с интервалом в один год, как это принято в моделях популяций рыб), во втором случае – время полагается непрерывным (такой подход характерен для моделей потоков вещества и энергии в озерных экосистемах). Если состояние моделируемой системы в данный момент времени однозначно определяется ее состоянием в предыдущий момент времени и внешними воздействиями, то модель называется *детерминированной*. Если по

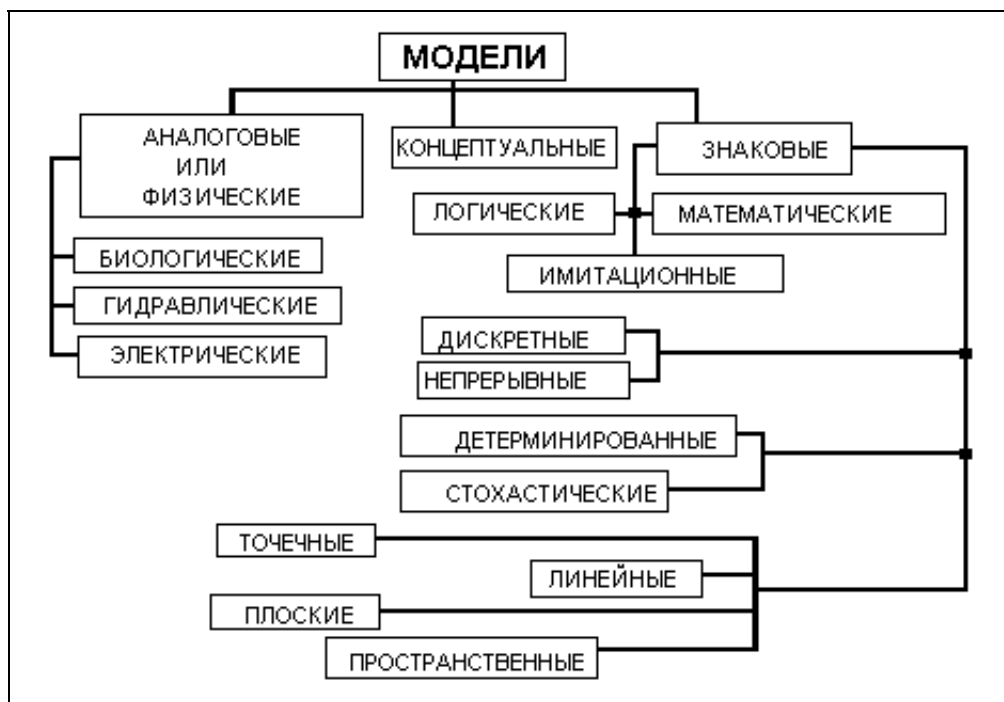


Рис. 9. ПРИМЕР КЛАССИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ В ЛИМНОЛОГИИ (Меншуткин и др., 2004)

предыдущему состоянию системы и внешним воздействиям можно указать только вероятности перехода системы в то или иное следующее состояние, то модель называется *стохастической*. Стохастические модели применяются при имитации явлений поведения гидробионтов, процессов адаптации и эволюционных преобразованиях в озерных экосистемах и их элементах.

По пространственному распределению элементов системы модели подразделяются: *точечные*, в которых пространственное распределение вообще игнорируется, *линейные*, в которых изменение переменных учитывается только по одной координате (например, по глубине), *плоские*, в которых фигурируют уже две координаты (например, изменение переменных экосистемы по акватории мелкого, но обширного водоема) и *пространственные*, где учитывается изменение переменных, характеризующих состояние озерной экосистемы по всем трем координатам.

Обобщением знаний о функционировании озерной экологической системы может служить схема потоков энергии, введенная в обиход экологических знаний Ю. Одумом. Построение подобной схемы требует совместного и целенаправленного труда целого коллектива исследователей от фитопланктологов до ихтиологов, поэтому, возможно, они публикуются относительно редко. Самое трудное при создании подобных схем – это добиться согласованности потоков энергии на различных трофических уровнях. Довольно типичным является случай, при котором потребление энергии зоопланктоном оказывается больше, чем продукция фитопланктона (рис. 10).

Все, что говорилось выше об озерных экосистемах, относилось к одной такой системе, вне связи с другими. Поэтому целесообразно перейти к рассмотрению множества или ансамбля озерных экосистем. При таком подходе сразу возникает проблема классификации озерных экосистем. Наиболее распространена система классификации трофности озер, впервые введенная Науманном и Тинеманом с выделением олиготрофных и эвтрофных водоемов. Литература по типологии озер громадна, разнообразных шкал, таблиц и терминов предложено много (рис. 11).

Отношение площади водосбора к поверхности озера называется удельным водосбором. Величина эта колеблется в широких пределах. Например, для Ладожского озера 14,6, для Великих Американских озер 1,6–3,4. Для оценки влияния водосбора на озерную экосистему важны не столько его площадь и удельный водосбор, сколько те процессы, которые на нем происходят и формируют качество вод, поступающих в озеро как при помощи поверхностного, так и подземного стока. В свою очередь озеро влияет на те процессы, которые определяют динамику водосбора, например, участвуя в формировании климатических условий. Иными словами, озеро является неотъемлемым элементом ландшафта как целостной природной системы. Таким образом, не только гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические особенности озер, но и тип ихтиоценоза прямо связывается с геологическим и геоморфологическим строением ландшафта.

Особое значение ландшафтное направление в изучении экосистем озер приобретает

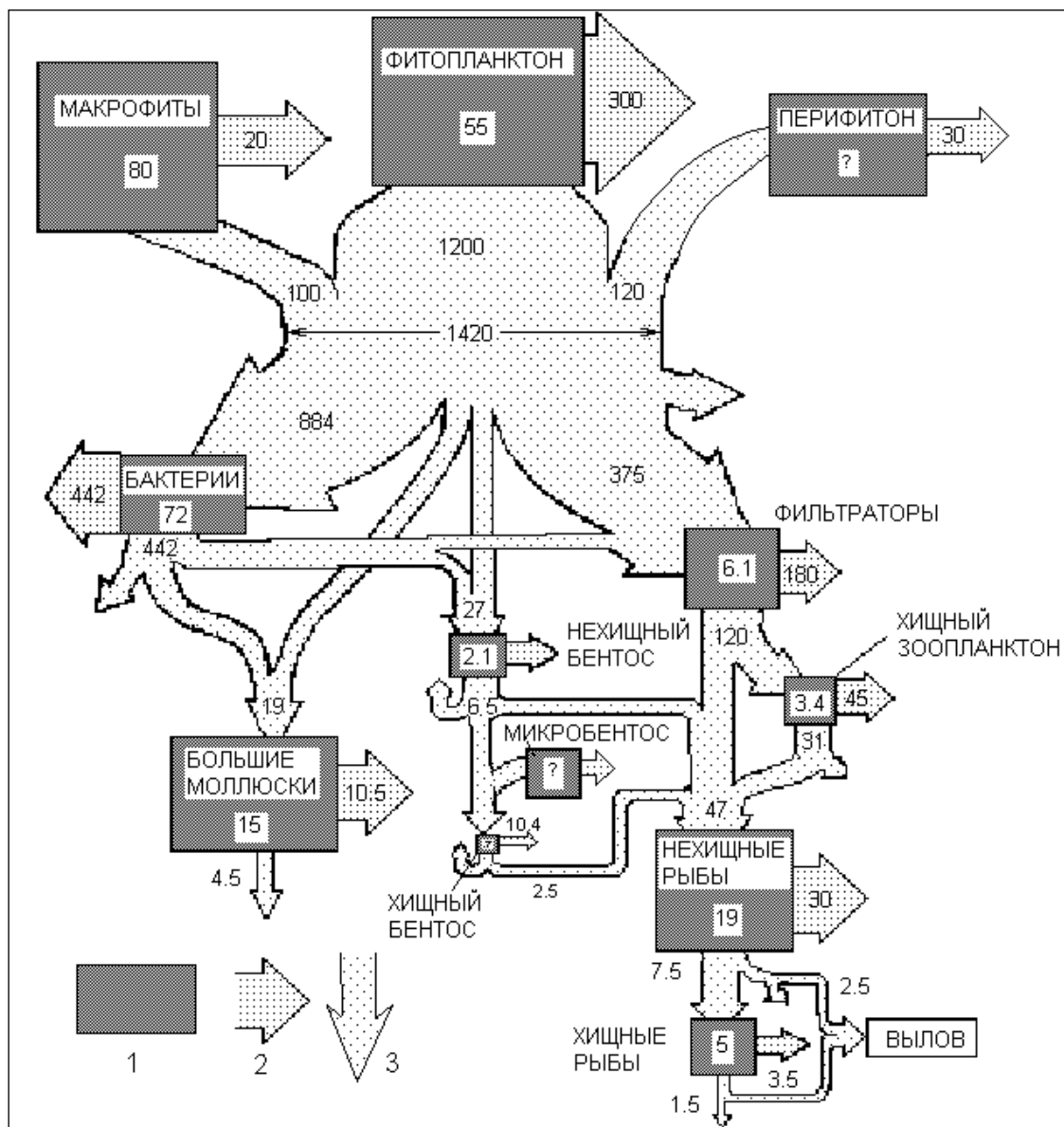


Рис. 10. ПОТОКИ ЭНЕРГИИ В ЭКОСИСТЕМЕ ОЗЕРА (Винберг, 1970).

1 – биомасса в ккал м⁻², 2 – траты на обмен в ккал м⁻² сезон⁻¹, 3 – продукция, рационы и отмирание в ккал м⁻² сезон⁻¹ (по работе Меншуткин и др., 2004)

при сильном антропогенном воздействии на эти системы. Управление качеством воды в озерах невозможно без знания и активного вмешательства в процессы, происходящие на водосборе (Меншуткин и др., 2004).

На рис. 12 изображена схема озера как элемента ландшафтной антропогенной системы. Рассмотрение озерной экосистемы не изолировано, а в совокупности с ландшафтной системой водосбора является одним из важнейших направлений лимнологических исследований.

Имитационные модели

Моделирование химико-биологических процессов при этом выполняется на более грубой пространственной сетке, чем гидрофизичес-

ких: озеро разбивается на несколько боксов (камер) с временным шагом для моделей годового цикла от нескольких суток до 1 месяца. В этих имитационных расчетах термогидродинамические процессы переноса задаются в агрегированном виде. На первом этапе рассчитываются течения на относительно мелкой сетке – порядка нескольких километров, а затем, на втором этапе, по полученным данным выполняется расчет водообмена между боксами.

Имитационные расчеты экосистемы осуществляются для конкретного по гидрологическим условиям и химико-биологическим особенностям года при наличии соответствующей информации для всех блоков модели. Расчеты химико-биологических параметров с тем же

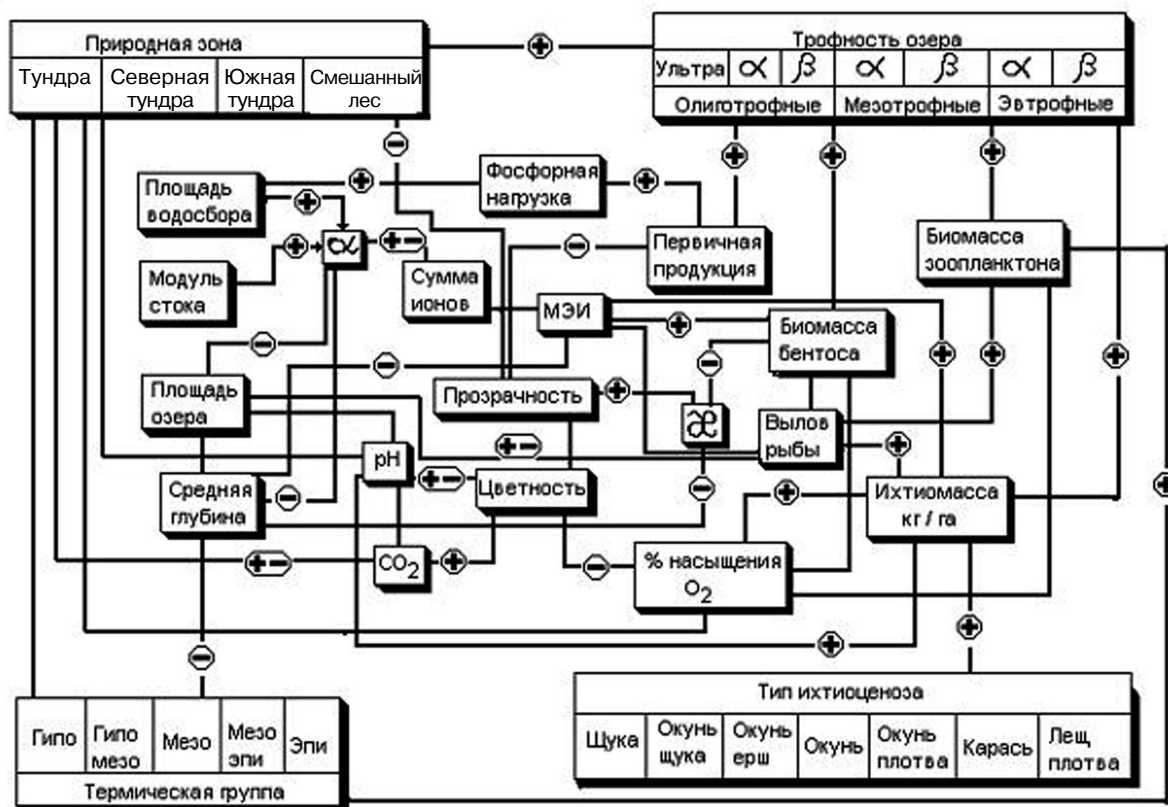


Рис. 11. СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВЯЗИ В ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ (по данным Китаева, 1986).

МЭИ – морфоэдафический индекс (отношение суммы ионов к средней глубине озера), α – коэффициент условного водообмена, κ – удельная прозрачность (прозрачность по Секки, деленная на среднюю глубину озера). Знак «+» указывает на проложительность связи, «-» на отрицательность, сочетание этих знаков соответствует многозначным связям (по работе Меншуткин и др., 2004)

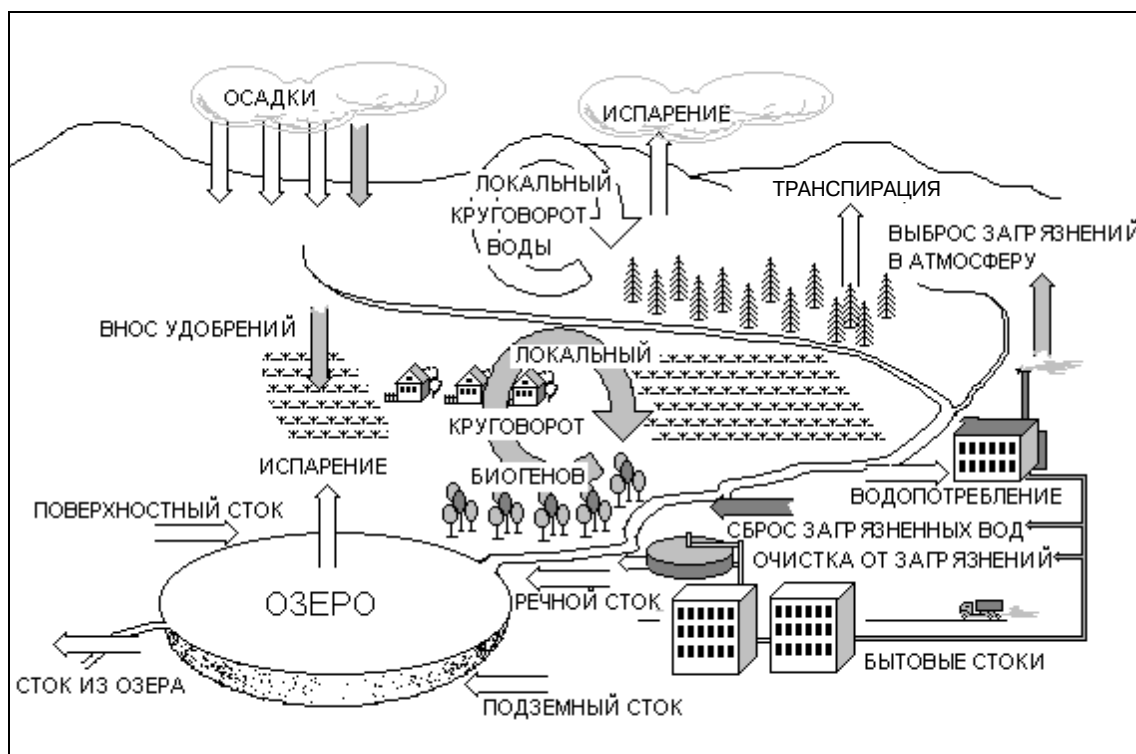


Рис. 12. СХЕМА ОЗЕРА КАК ЭЛЕМЕНТА АНТРОПОГЕННОЙ ЛАНДШАФТНОЙ СИСТЕМЫ (Меншуткин и др., 2004)

пространственным шагом, что и для гидродинамической модели, невозможны в силу отсутствия соответствующего информационного обеспечения модели и относительно невысокой точности определения химико-биологических параметров озерной экосистемы, не превышающей 20–30%. Эта величина и определяет порог «различимости» камер.

Для оз. Севан в Армении, например, было выбрано всего 2 камеры (Большой и Малый Севан), разделенные на 2 слоя – эпи- и гипolimнион, для оз. Онтарио в Северной Америке – 21 камера, а для Ладожского озера – 8 камер с двумя слоями (Леонов и др., 1996).

При создании имитационных моделей задается энерго-массообмен с внешней средой, определяемый ветром, притоком, стоком, испарением, осадками, потоками тепла, или учитываются водный и тепловой балансы и баланс вещества.

В отличие от гидродинамических моделей в имитационных моделях совместный вклад от адвекции и турбулентной диффузии сводится к заданию потоков через границу соседних камер. Потоки рассчитываются по данным гидродинамического моделирования и по эмпирическим соотношениям. Потоки вещества оцениваются далее с использованием принципа Саймонса-Лэма. В разностном виде уравнение для потока имеет вид:

$$v_{ij} C_i^t = v_{i-1} C_{i-1}^t + \Delta t w_{ij} (C_{i-1}^{t-1} + C_i^{t-1})/2,$$

где v – объем i -й камеры в момент t ; Δt – шаг по времени, C_{i-1}^{t-1} , C_i^{t-1} – средняя концентрация вещества в момент времени t в j -й и i -й соседних камерах; w_{ij} – градиент скорости между камерами.

Внутренний водообмен определяется особенностями циркуляции вод и формируется с учетом притока и стока. Осадки и испарение равномерно распределяются по акватории в зависимости от площади боксов. Интенсивность водообмена зависит от скорости течений, а «направленность» водообмена между боксами вычисляется по определенным из модели и наблюдений течениям. Водообмен между боксами рассчитывается для конкретных сезонов.

Биотическая часть этой модели, кроме фитопланктона, зоопланктона и детрита содержит еще гетеротрофные бактерии и простейшие. Гидрохимическая часть модели описывает растворенное в воде органическое вещество, минеральные формы фосфора, азота, углерода, растворенного кислорода. Кроме того, в число переменных модели включен растворенный в воде кислород.

Отметим также, что в рассматриваемой модели не выполняются законы сохранения биогенов внутри ячейки, которые должны выполняться, если не учитывать перенос вещества между ячейками. В модели В. В. Меншуткина для Ладожского озера использовалось двух-

слойное разбиение озера на сравнительно небольшое число ячеек – всего около 60. Средняя глубина в мелководной части озера считалась постоянной. В модели использовалась осредненная по глубине система течений, неизменная в течение года. Поле температуры задавалось на основе данных наблюдений. Биотическая часть модели была представлена обобщенными биомассами фито- и зоопланктона, распределенными по отдельным ячейкам, на которые разбит водоем. Гидрохимическая часть модели основывалась на сведениях баланса азота и фосфора, как в органической, так и в минеральной формах. Состояние экосистемы описывается 6 переменными: обобщенной сырой биомассой фито- и зоопланктона – A и Z ; концентрацией растворенных в воде форм фосфора P , доступных для потребления водорослями; концентрацией растворенных в воде форм азота N ; концентрацией фосфора в детрите и бактериопланктоне DP ; концентрацией азота в детрите и бактериопланктоне DN . Несмотря на весьма значительную схематизацию гидродинамики озера и его геометрии, отсутствие в модели воспроизведения зимнего периода, модель вполне реалистично воспроизвела динамику биомассы фитопланктона в вегетационные периоды 1981–1983 гг., распределение концентрации общего фосфора по акватории, вынос общего фосфора Невой. С помощью модели были даны прогностические оценки годовой динамики фитопланктона при различных уровнях фосфорной нагрузки на водоем.

К недостаткам принятой, достаточно разреженной схемы расположения боксов относятся их «жесткость», т. е. постоянство формы и размеров боксов для разных сезонов, а также недоучет особенностей водообмена и турбулентного перемешивания.

Трехмерные модели динамики вод и экосистем

В настоящей работе мы представим этот подход по работам Л. А. Руховца, Г. П. Астраханцева, В. В. Меншуткина и др. (Руховец и др., 2006), которые выполнили широкий комплекс расчетов для разных модификаций трехмерных моделей на примере Ладожского озера. Одновременно с моделью экосистемы Ладожского озера (Меншуткин, 2002) была создана трехмерная модель круглогодичной климатической циркуляции Ладожского озера (Астраханцев и др., 2003). Под климатической циркуляцией озера здесь подразумеваются крупномасштабная циркуляция и температурный режим, которые соответствуют некоторым средним климатическим условиям внешних воздействий на водоем, таких как ветер, поток тепла через поверхность, приток и сток рек и т. п. Для исследования процесса антропогенного эвтрофирования Ладожского озера использование такого

рода круглогодичной динамики водоема представляется естественным. С помощью этой модели (Астраханцев и др., 2003) была воспроизведена круглогодичная циркуляция озера, соответствующая средним многолетним среднемесячным значениям внешних воздействий на водоем.

Важным свойством компьютерной реализации этой модели является точное выполнение дискретных аналогов законов сохранения тепла и массы, что обеспечило возможность провести расчеты на длительный срок (приблизительно 25 лет физического времени для получения климатической циркуляции водоема). На основе объединения модели экосистемы (Меншуткин, 2002) и гидротермодинамической модели Ладожского озера (Астраханцев и др., 2003) в одну общую была создана еще одна трехмерная модель экосистемы водоема. Приступая к данной работе, авторы исходили из того, что использование полноценной гидродинамической составляющей модели позволит улучшить качество модели экосистемы озера, имеющего значительное разнообразие условий функционирования экосистемы в различных частях озера. Эта модель является первой в серии моделей, созданных авторским коллективом, неизменными членами которого были Г. П. Астраханцев, В. В. Меншуткин, Н. А. Петрова, Л. А. Руховец. Во всех моделях воспроизводятся следующие процессы: перенос субстанций течениями, турбулентная диффузия и оседание, трансформация органического вещества и биогенных элементов. Во всех моделях для описания перечисленных выше процессов используются системы уравнений в частных производных вида

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_i}{\partial t} + u \frac{\partial C_i}{\partial x} + v \frac{\partial C_i}{\partial y} + (w - w_c) \frac{\partial C_i}{\partial z} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial C_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial C_i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial C_i}{\partial z} \right) + \\ + L_i(C_1, C_2, \dots, C_N), \quad i = 1, 2, \dots, N, \end{aligned}$$

где $\vec{u} = (u, v, w)$ – вектор скорости течения в водоеме; $\vec{u}_{ci} = (0, 0, w_{ci})$ – скорость оседания субстанции; $C_i, w_{ci} \geq 0, k_x, k_y, k_z$ – коэффициенты турбулентной диффузии пассивной примеси, N – число переменных математической модели, характеризующих состояние экосистемы водоема, $L_i(C_1, C_2, \dots, C_N)$ – нелинейные операторы, описывающие процессы трансформации органического вещества и биогенных элементов. В первой из моделей авторов число переменных равнялось 7. В отличие от модели (Меншуткин, 2002) здесь в состав модели наряду с прежними переменными (A, Z, P, N, DP, DN) был еще включен растворенный в воде кислород OX (Астраханцев и др., 2003).

Для калибровки новой модели использовались данные наблюдений за экосистемой водоема в период 1984–2004 гг. Для верификации модели с ее помощью была предпринята попытка воспроизвести процесс антропогенного эвтрофирования Ладожского озера под воздействием фосфорной нагрузки. Основным механизмом трансформации экосистемы озера, как в условиях естественной эволюции, так и при антропогенном воздействии, является сукцессия видового состава гидробионтов всех трофических уровней.

К сожалению, современные лимнологические исследования, как у нас, так и за рубежом, практически не рассматривают взаимосвязей процессов. Среди наиболее важных задач будущего можно назвать (Руховец и др., 2006):

- получение индивидуальных функциональных характеристик гидробионтов и их проявления в особенностях формирующихся сообществ организмов;
- исследование влияния биоты на трансформацию наиболее консервативных звеньев экосистемы – пула растворенного органического вещества и донных отложений;
- изучение проблем, возникающих в результате длительного антропогенного воздействия, эффектов саморазвития процесса эвтрофирования и вторичного загрязнения озер;
- дальнейшее совершенствование моделей экосистем.

Совершенствование моделей экосистем возможно несколькими путями. Например, за счет включения так называемых популяционных моделей, зоопланктона и бентоса и др., но опыт Меншуткина (1993) показал ограниченность такого пути. Другой путь – это разработка системы субмоделей, например, как это было сделано для Азовского моря (Горстко и др., 1984). Все модели (гидродинамики и популяции промысловой рыбы и др.) получают отдельно и соединяются в единую систему при проведении имитационных экспериментов. Проблем теоретического и технического порядка при создании водных экологических моделей много, но, как считает В. В. Меншуткин, «самым важным является разработанность биологической концепции и доброкачественность исходных данных. Никакие самые совершенные вычислительные машины и методы прикладной математики не спасут положения, если наблюдения на водоеме велись бессистемно». Таким образом, для изучения озерных систем сохраняют свою актуальность постановка направленных экспериментов на водоемах с использованием традиционных, классических лимнологических методов, а также с применением дистанционных методов, моделирования, современных разработок в области искусственного интеллекта, экспертных систем.

ЛИТЕРАТУРА

- Алимов А. Ф., Умнов А. А. Применение математической модели для исследования разнообразия биотических потоков в водоемах // В кн. Алимов А. Ф. Бульон А. А. (ред.) Реакция озерных экосистем на изменение биотических и абиотических условий. Труды ЗИН. Т. 272. СПб., 1997. С. 311–319.
- Астраханцев Г. П., Меншуткин В. В., Петрова Н. А., Руховец Л. А. Математическое моделирование крупных стратифицированных озер. СПб., 2003. 320 с.
- Берлянд А. М. Введение в картографию. Конспект лекций. М., 1993. 71 с.
- Верещагин Г. Ю. Лимнология и ее главные задачи // Вестник АН СССР, 1934. № 3. С. 12–27.
- Винберг Г. Г. (ред.) Основы изучения пресноводных экосистем. Л., 1981. 172 с.
- Горстко А. Б. Познакомьтесь с моделированием. М., 1991. 157 с.
- Ивахненко А. Г., Юрачковский Ю. П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. М., 1987. 119 с.
- Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М., 1982. 432 с.
- Маргалеф Р. Облик биосферы. М., 1992. 214 с.
- Меншуткин В. В. Компьютерное моделирование процесса эволюции рыб // Вопросы ихтиологии, 2002. 42(4). С. 543–548.
- Меншуткин В. В., Показеев К. В., Филатов Н. Н. Физика экологии озер. Т. 2. Экология. 2004.
- Меншуткин В. В. Имитационное моделирование водных экологических систем. Л., 1993. 196 с.
- Меншуткин В. В. Оптимальное управление экологической системой озера или водохранилища с целью получения наибольшей экономической выгоды от эксплуатации природных ресурсов водоема. СПб., 2005. 72 с.
- Моделирование Онежского озера для решения задач использования и сохранения его ресурсов. Часть 1 // Препринт. (Ред. Л. А. Руховец, Н. Н. Филатов). СПб., 2003. 32 с.
- Налимов В. В. Анализ оснований экологического прогноза. Паттерн-анализ как ослабленный вариант прогноза // Человек и Биосфера. Вып. 8. М., С. 31–47.
- Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. Ижевск, 2001. 160 с.
- Поспелов Д. А. (ред.) Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. М., 1986. 312 с.
- Уайтхед А. Избранные работы по философии. М., 1990. 720 с.
- Умнов А. А. Изучение стабильности экосистем при помощи их математических моделей // А. Алимов и В. Бульон (ред.). Реакция озерных экосистем на изменение биотических и абиотических условий. Труды ЗИН. Т. 272. 1997. С. 303–310.
- Филатов Н. Н. Гидродинамика озер. СПб., 1991. 191 с.
- Филатов Н. Н. Спутниковая лимнология. Препринт доклада. Петрозаводск, 1989. 60 с.
- Филатов Н. Н. Географические информационные системы и их применение для изучения окружающей среды. Петрозаводск, 1997. 103 с.
- Флейшман Б. С. Основы системологии. М., 1982. 386 с.
- Хендерсон-Селлер Б., Маркланд Х. Умирующие озера. Л., 1990. 279 с.
- Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. М., 1979. 279 с.
- Atkinson G., Dubourg R., Hamilton K., Munasinghe M., Pearce D., Young C. Measuring of sustainable development. Macroeconomics and the environment. Edward Elgar, Lyme US. 1997. P. 252.
- Grant W. E., Pedersen E. K., Marin S. L. Ecology and natural resources management, system analysis and simulation. J. Wiley & Son. NY. 1997. 348 p.
- Guidelines of Lake Management. Vol. 8. The World Lakes in Crisis. Ed. S.E. Jorgenssen, S. Matsui. ILEC. Japan. 1997. 186 p.
- Jorgensen S. E., Hailing B. S., Nielsen N. (ed.). Handbook of environment and ecological modelling. Lewins Pub. 1995. 620 p.
- Kondratyev K. Ya., Filatov N. N. Limnology and Remote sensing. A contemporary approach. Springer-Praxis. London. 1999. 406 p.
- Straskraba M. 1995. Cybernetic Theory of Ecosystems // In A. Gnauck, A. Frischmuth and A. Kraft (editors.) Okosysteme. Modelling and Simulation. Eberhard Blotter Verlag, Taunusstein. Germany. 1996. P. 31–51.
- Underwood A. J. Relationships between ecological research and environmental managements // Landscape and Urban Planning, 40. 1998. P. 123–130.

СЛОВАРЬ используемых терминов

База данных (БД) – совокупность данных, организованных по определенным правилам, устанавливающим общие принципы описания, хранения, манипулирования данными, независимая от прикладных программ и доступная множеству пользователей по их запросам; для осуществления этих функций используется та или иная система управления базами данных, поддерживающая одну из трех наиболее распространенных схем данных реляционного, иерархического и сетевого типов; **БД** в ГИС – совокупность данных о пространственных объектах, включающая их позиционную и непозиционную составляющие, при этом позиционная часть данных обычно организуется и управляется собственными программными средствами ГИС, атрибутивная – **СУБД** реляционного типа – ORACLE, dBASE, RBASE и др.

Векторный формат – цифровое представление пространственных объектов в виде набора координатных пар (векторов), описывает только геометрию объектов и их взаимные отношения в виде векторно-топологического представления.

Географическая информационная система (ГИС, GIS) – аппаратно-программный человеко-машинный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных, интеграцию сведений и знаний о территории для их эффективного использования в целях решения научных и прикладных географических задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией общества.

Картографическая база данных, КБД – база данных картографической специализации, упорядоченное множество цифровых карт в составе автоматизированной картографической системы.

Классификация машинная – автоматическое отнесение каждого элемента изображения к определенному типу объектов на основе формализованных правил.

Электронная карта – один из видов продукции автоматизированной картографии, картографическое изображение, получаемое при помощи специализированных устройств отображения ЭВМ или с помощью неспециализированных устройств отображения, обеспечивающих имитацию традиционных средств картографической выразительности.

Многозональная съемка – одновременное получение черно-белых снимков одного и того же участка местности в нескольких узких зонах электромагнитного спектра.

Обновление – процесс изменения содержания данных для их приведения к текущему состоянию. В картографии: *О* карты – приведение содержания карты в соответствие с современным состоянием картографируемого объекта путем пересоставления и переиздания.

Оверлей – 1) Операция наложения друг на друга двух и/или более слоев, в результате которой образуется графическая композиция исходных слоев или один производный слой, содержащий композицию пространственных объектов исходных слоев, топологию этой композиции и атрибуты арифметических или логических производных от значений атрибутов исходных объектов. 2) *Оверлей* – синоним определения *слой*.

Разрешение – способность измерительной системы или устройства отображения обеспечить различие деталей объекта.

Растр – 1) Оптическая решетка с прозрачными и непрозрачными элементами, используемая при полиграфическом воспроизведении полутоновых изображений. 2) Семейство горизонтальных параллельных линий, образующих изображение на электронно-лучевой трубке монитора ЭВМ.

Растровое представление – цифровое представление пространственных объектов в виде совокупности ячеек раstra в отличие от регулярного представления как совокупности ячеек регулярной сети; местоуказание объектов осуществляется при этом указанием их положения в соответствующей растре прямоугольной матрице единообразно для всех типов объектов.

Система управления базами данных, СУБД – комплекс программных средств для создания, введения и использования баз данных, включая ввод, хранение, манипулирование, поиск и другие специфические для *СУБД* операции или команды; для управления *БД ГИС* используются *СУБД* собственной разработки.

Сканер – 1) Устройство аналого-цифрового преобразования изображения для его автоматизированного ввода в ЭВМ в растровом формате с высоким разрешением в отображенном или проходящем свете с прозрачного на непрозрачный оригинал. 2) Устройство, размещаемое на аэро- или космических аппаратах, для выполнения съемки земной поверхности или иных небесных тел путем построчного сканирования объекта съемки с регистрацией собственного или отраженного излучения.

Слой – совокупность цифровых представлений однотипных пространственных объектов, относящихся к одной теме в пределах некоторой территории и в системе координат, общих для набора слоев.

Спектральная яркость – яркость объектов в узкой зоне электромагнитного спектра.

Синтезированный цветной снимок – снимок, получаемый сложением зональных изображений.

Формат – 1) Способ расположения данных в памяти вычислительной системы, в базе данных или внешнем носителе. 2) Способ разбиения поверхности магнитного носителя на адресуемые элементы.

Цветокodирование – окрашивание черно-белого снимка, при котором определенным яркостям присваиваются заданные цвета.

Цифровая карта – цифровая модель элементов картографического изображения, созданная путем цифрования картографических источников, топографо-геодезических съемок или иным способом с соблюдением нормативов, определяющих геометрическую точность, нормы генерализации и дизайн и допускающих ее реализацию в виде компьютерных и электронных карт.

Экспертная система – одна из разновидностей автоматизированных интеллектуальных систем, способная давать объясняемые ответы на задаваемые вопросы, относящиеся к конкретной предметной области, и оценить их достоверность. Программное обеспечение системы формирует ответ на основе информации, не только в явном виде хранящийся в ЭВМ, но и получаемой путем рассуждения и логических выводов, для построения которых используются знания и ход рассуждений человека-эксперта.

Электронная карта – один из видов продукции автоматизированной картографии, получаемый в результате визуализации цифровой карты в АКС или цифровых представлений пространственных объектов в ГИС на дисплее ЭВМ, в отличие от компьютерных карт, генерируемых с помощью устройств отображения на «твердом» носителе.

Электронный атлас – аппаратно-программное средство генерации совокупности электронных карт и иных типов графических и текстовых элементов.

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ КАРЕЛИИ КАК ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ФАКТОР

А. В. Литвиненко, П. А. Лозовик, В. А. Карпечко

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Существенная роль водных ресурсов в развитии и размещении производительных сил, многообразие влияния водного хозяйства на окружающую среду вызывают необходимость создания научных основ рационального использования и охраны вод. В последние десятилетия этим вопросам уделяется очень большое внимание, в том числе и в Карелии.

В настоящей статье предпринята попытка рассмотрения природных особенностей водных ресурсов Карелии как фактора, определяющего и специфику водохозяйственной ситуации, и специфику водно-экологических проблем.

В гидрографическом отношении территория Карелии относится к бассейнам Белого и Балтийского морей (рис. 1). На беломорскую часть приходится 57% территории республики, на балтийскую – 43% (без учета акваторий Ладожского и Онежского озер). Специфика гидрографии региона обусловлена особенностями всего комплекса природных условий района, в первую очередь геологического

строения, рельефа и климата, а также географическим положением республики.

В геологическом отношении Карелия является восточной окраиной Балтийского (Фенноскандинавского) кристаллического щита – области распространения преимущественно древнейших кристаллических пород архейско-протерозойского комплекса. Они перекрыты тонким слоем четвертичных отложений, представленных сложным комплексом ледниковых (в основном), межледниковых и послеледниковых отложений. Их мощность колеблется от 0 до 110–130 м (максимальные значения отмечаются в крайней южной части).

Главные элементы рельефа обусловлены сочетанием древних тектонических процессов с денудацией и аккумуляцией четвертичного периода, важнейшим событием которого были мощные материковые оледенения. Основное влияние на формирование современного рельефа оказало последнее из них – Валдайское, закончившееся только 10–11 тыс. лет назад. Двигавшийся со Скандинавии ледник принес и отложил большие объемы несортированных

обломков горных пород (морены). В результате сформировался очень специфический чрезвычайно расчлененный грядово-холмистый рельеф с абсолютными отметками, не превышающими 200 м. И только на крайнем северо-западе они достигают 600 м (г. Нуорунен – 577 м). Для южных районов республики характерна северо-западная ориентировка форм рельефа, для северных – широтная, реже – северо-восточная или северо-западная, что определило и ориентировку водных объектов. Деятельность ледника и ледниковых вод придавала особый облик доледниковому рельефу, не меняя его главных черт. В частности, сохранились результаты вертикальных тектонических движений, сопровождавшихся поднятиями и опусканиями земной коры. В то время образовались котловины Ладожского, Онежского и других озер, Белого моря, в трещинах и разломах заложились речные долины.

Климат Карелии умеренно континентальный с чертами морского. Он характеризуется продолжительной мягкой зимой и коротким прохладным летом, значительной облачностью и неустойчивой погодой в течение всего года. Наиболее существенное значение для формирования гидрографической сети и гидрологического режима водных объектов имеют атмосферные осадки и испарение. Территория республики относится к зоне избыточного увлажнения, что определяется сравнительно небольшим приходом тепла и хорошо развитой циклонической деятельностью во все сезоны. Количество осадков составляет 550–750 мм в год, возрастая с севера на юг. В то же время, вследствие невысоких летних температур, большой облачности, повышенной влажности воздуха, Карелия является зоной относительно малого испарения, составляющего от 310 мм на севере до 420 на юге. Таким образом, испаряется только 50–60% осадков, остальная часть идет на формирование речного стока.

Большое значение имеют также особенности географического положения республики, которые заключаются в прохождении по ее территории Беломорско-Балтийского водораздела и близости к нему крупных базисов эрозии – Белого моря, Ладожского и Онежского озер.

Таким образом, суммируя вышесказанное, следует отметить, что главными обстоятельствами, определившими специфику гидрографической сети Карелии, являются:

- геологическая молодость сети;
- неглубокое залегание кристаллических пород и малая мощность рыхлых четвертичных отложений;
- наличие множества заполненных водой тектонических нарушений;
- чрезвычайно расчлененный рельеф ледникового происхождения;

– сравнительное обилие атмосферных осадков при низком испарении;

– близость главного водораздела к базисам эрозии.

В результате совместного воздействия перечисленных факторов сформировалась очень развитая гидрографическая сеть, сравнимая по своей уникальности только с водными объектами сопредельной Финляндии. Она представлена, большей частью, либо небольшими реками, либо короткими протоками, которые соединяют многочисленные озера, образуя озерно-речные системы. Линейная озерность (отношение длины озерных участков к общей длине системы) таких водных объектов может достигать 50–60% и более (реки Ковда, Лендерка, Каменная – Ногейсйоки).

По современным данным общее число рек (включая Карельский перешеек) составляет 26,7 тыс. Суммарная их протяженность – 83 тыс. км. Преобладают водотоки длиной менее 10 км. Их количество – 25,3 тыс. (95%), общая протяженность – 52,3 тыс. км (63%) (Ресурсы поверхностных вод., 1972). Только 30 рек имеют длину более 100 км и относятся к классу средних (табл. 1). Густота речной сети составляет 0,53 км/км². Площадь водосбора у подавляющего числа рек также мала. Только 366 водных систем имеют бассейны площадью более 100 км², в том числе 51 система с водосбором, превышающим 1000 и 5 – 10 000 км² (реки Кемь, Выг, Ковда, Водла, Шуя).

Молодостью карельских рек и особенностями кристаллического фундамента объясняется слабая врезанность их русел, неразвитость речных долин, ступенчатый характер продольного профиля, представляющего собой ряд порожистых участков, чередующихся с плесами. Часто роль плесовых участков выполняют озеровидные расширения или озера.

Близость к водоразделам основных базисов эрозии обусловили значительное падение рек. Большая часть его величины (80–90%) приходится на пороги и карешки (небольшие порошки). Для малых рек величина падения может достигать 10 м/км (р. Неглинка), при преимущественной величине 2–5 м/км. Более крупные реки имеют меньшее удельное падение, редко превышающее 1 м/км, но и на них сосредоточенные падения на отдельных участках достигают значительных величин.

Характерной особенностью карельской гидрографии являются также узкие, невысокие водоразделы и близость соседних водотоков, что создает условия для переброски стока в другие бассейны (р. Суна – оз. Палье, р. Поньгома – оз. Топозеро). А сложный изрезанный рельеф в условиях водораздельного расположения озер часто определяет сток из них по нескольким направлениям одновременно: оз. Энгозеро – реки Калга и Воньга, оз. Сариярви – реки Лоймоланйоки (Тулемайоки) и Пенсанйо-

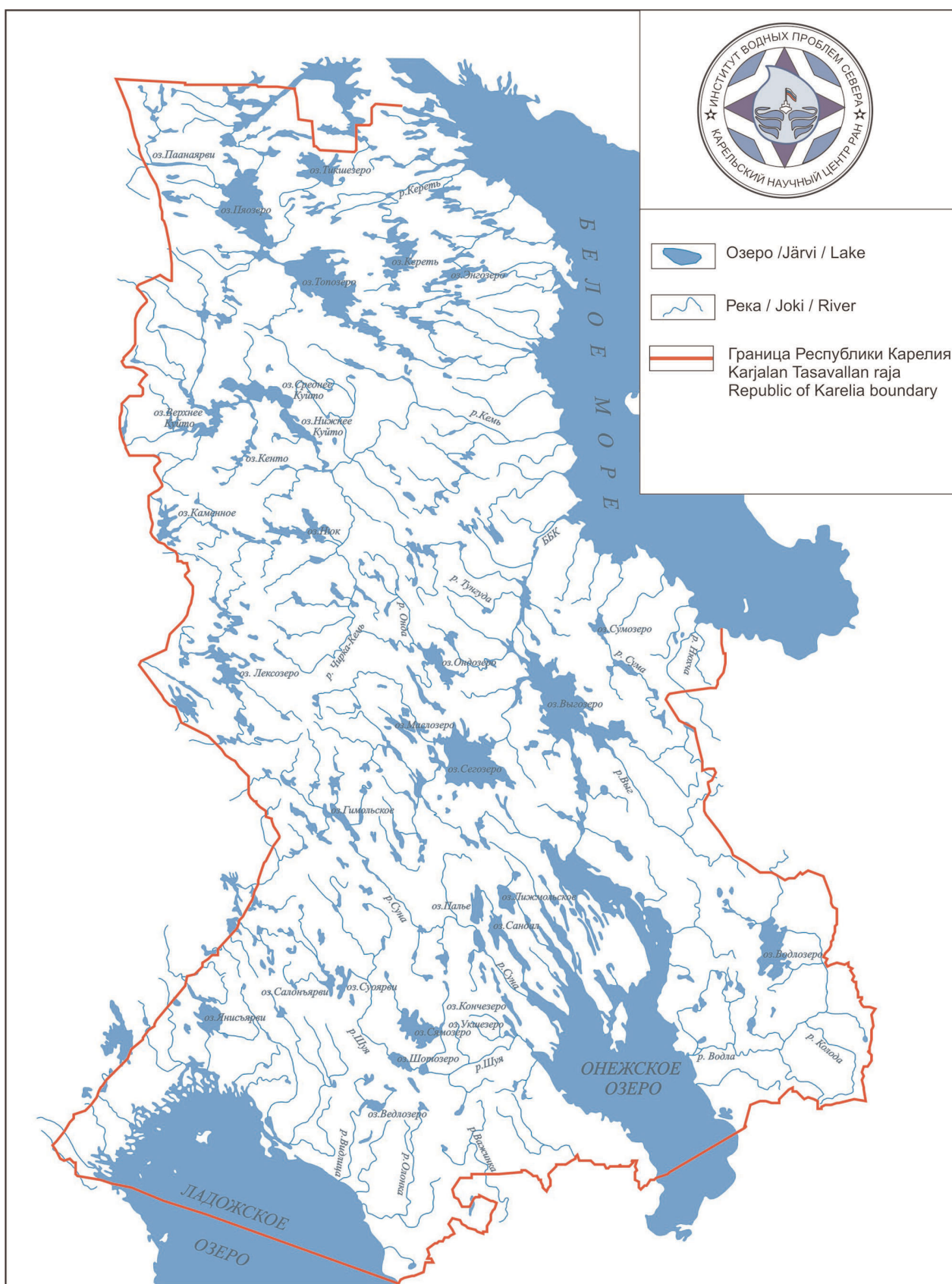


Рис. 1. ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТЬ КАРЕЛИИ

Таблица 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ РЕК КАРЕЛИИ (РЕСУРСЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД..., 1965)

Название реки	Длина, км	Площадь водосбора, км ²	Площадь озера на водосборе, км ²	Принятый исток
1	2	3	4	5
Бассейн Белого моря				
Ковда	233	26100	3656	Оз. Топозеро
Оланга	137/67	5670/...	.../142	На территории Финляндии
Тумча	207/172	5240/...	215/...	То же
Лопская	106	2760	546	Оз. Виксозеро
Воньга	106	2580	427	Оз. Энгозеро
Кемь	191	27700	2568	Оз. Нижн. Куйто
Войница	108/94	1300/...	.../42,1	На территории Финляндии
Писта	110	3190	229	Оз. Мульпярви
Чирка-Кемь	221	8270	704	Слияние рек Чирка и Кемь
Кепа	154	1640	94,6	Оз. Таявиярви
Нижняя Охта	142	2170	231	Оз. Ватулма
Беломорско-Балтийский канал (Нижний Выг)	188	27100	3795	Оз. Выгозеро
Выг (Верхний Выг)	135	3000	71,1	Оз. Верхотинное
Волома	138	2070	219	Оз. Волома
Онда	197	4080	509	
Тунгуда	128	1830	178	Оз. Пертьярви
Сума	164	2020	271	Оз. Мелозеро
Нюхча	106	1770	50,7	Оз. Нюхчозеро
Бассейн Балтийского моря				
Собственный бассейн Ладожского озера и р. Свири				
Лендерка	150/41	.../4890	.../604	Оз. Сула
Койтайоки	162/48	.../...	.../...	Оз. Алинен-Айтоярви
Янисйоки	126/70	3900/...	.../279	На территории Финляндии
Уксунйоки	121	1080	58,2	Оз. Куйккаярви
Важинка	123	2020	53,8	
Бассейн Онежского озера				
Шуя	194	10100	1071	Оз. Суоярви
Суна	280	7670	987	Оз. Кивиярви
Водла	149	13700	723	Слияние рек Сухая Водла и Вама
Илекса	155	3950	122	Оз. Калгачинское
Нетома	107	776	6,5	Оз. Нетомское
Колода	112	1330	35	Оз. Глубокое
Шалица	104	992	61,1	Оз. Шалозеро

Примечание. 1. Данные по р. Суне даны для водосбора в естественном состоянии. 2. В числителе приводятся данные для всего водосбора, в знаменателе – для территории России. 3. Знак ... обозначает отсутствие данных.

ки (Уксунйоки), оз. Сегежское – реки Обжанка и Сегежа (приток р. Свири).

Структурными основными элементами гидрографической сети Карелии являются водоемы (озера и водохранилища), во многом определяющие специфику водных систем республики. На территории республики насчитывается 61,1 тыс. озер суммарной площадью около 18 тыс. км² (Гашева, 1967). Кроме того, в пределах республики находится около 50% акватории Ладожского и 80% – Онежского озер, являющихся крупнейшими пресноводными водоемами Европы. Озерность территории составляет 12%, а с учетом карельских частей Онего и Ладоги достигает 21%, являясь одной из самых высоких в мире (принимая площадь Карелии, равной 172,4 тыс. км² с включением онежской и ладожской акваторий и 155,9 – без них).

Основное число составляют озера площадью менее 1 км². Более значительные размеры имеют только 1389 водоемов (чуть более 2% от общего числа), из них лишь 20 превышают

100 км² (табл. 2). В группе малых водоемов преобладают озера, не имеющие видимого стока («бессточные»), которые представлены в основном лесными и болотными озерцами (лабмами).

В Карелии выделяются два основных типа озерных котловин по происхождению: тектонические и ледниковые (моренные). Почти все крупные и средние водоемы имеют тектонический генезис. Их котловины развиты в трещинах и сбросах с ярко выраженными следами эрозионной деятельности ледников. Они имеют, как правило, сложные очертания берегов и пересеченный рельеф дна, большие глубины. Озера ледникового типа расположены в понижениях между моренными грядами и холмами или в подпруженных речных долинах. Они небольших размеров, имеют менее изрезанную, часто округлую форму, плоское дно без резких перепадов глубин, которые не превышают, как правило, 5–10 м. Также встречаются узкие, длинные озера, через которые протекают реки.

Кроме того, существует много мелких озер болотного происхождения.

Одной из форм хозяйственного использования водных ресурсов является регулирование речного стока путем создания водохранилищ. Как уже отмечалось выше, молодые в геологическом отношении реки Карелии имеют неглубокие, слабоврезанные долины. Поэтому долинные водохранилища, ложем которых служит часть речной долины, даже ценой больших затоплений имеют незначительные объемы. Основным типом водохранилищ являются котловинные водохранилища (озерные), созданные почти на всех крупных озерах (табл. 3). Преобладание котловинных водохранилищ является региональной особенностью республики, так

как большинство водохранилищ в бывшем СССР и во всем мире долинные. Этот факт еще раз подчеркивает специфику гидрографической сети Карелии.

Объем воды, аккумулированный в водохранилищах, равен 80,2 км³. Из них общая полезная емкость составляет 18,6 км³, что позволяет регулировать 47% годового объема речного стока. Еще 65,0 км³ воды сосредоточено в озерах, остающихся в естественном состоянии. Кроме того, к этим цифрам следует добавить большие части объемов Онежского (Верхне-Свирское водохранилище) и Ладожского озер. Основная часть вод, содержащихся в водоемах (78%), находится в бассейне Белого моря, где они представлены, главным образом, водами

Таблица 2

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЗЕР С ПЛОЩАДЬЮ ЗЕРКАЛА БОЛЕЕ 100 км² В СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ

Водоем	Водосбор главной реки	Площадь, км ²		Глубина, м		Объем, км ³	Примечания
		водосбора	зеркала	средняя	максимальная		
Ладожское	Нева	258300	17700	51	230	910	
Онежское	Нева	53100	9720	30	120	295	Зарегулировано
Выгозеро	Нижний Выг	20800	1250	7,5	20	9,26	Зарегулировано
Топозеро	Ковда	2540	986	16	56	15,6	Зарегулировано
Пяозеро	Ковда	11300	943	18	58	16,7	Зарегулировано
Сегозеро	Нижний Выг	6640	815	29	103	23,4	Зарегулировано
Водлозеро	Водла	4960	322	2,8	16	0,906	Зарегулировано
Сямозеро	Шуя	1550	266	6,7	24	1,79	
Ср. Куйто	Кемь	9470	257	10	34		Зарегулировано
Верх. Куйто	Кемь	7150	240	8,5	44	2,09	
Кереть	Кереть	1100	223	4,5	26	1	
Нюк	Кемь	3090	214	8,5	40	1,81	
Тикшозеро	Ковда	1080	209	8	41	1,68	
Янисъярви	Янисйоки	3460	200	10	57	2,04	Зарегулировано
Сандал	Суна	6620	185	9,5	58	1,78	Зарегулировано
Ондозеро	Нижний Выг	2380	182	3,5	8	0,6	Зарегулировано
Лексозеро	Лендерка	3280	166	8,5	34	1,408	
Нижн. Куйто	Кемь	10200	141	8,6	33		
Энгозеро	Калга и Воньга	1220	122	4,5	18	0,544	
Палье	Суна	6110	109	18	74	2	Зарегулировано

Примечание. Площадь водосбора дана без площади зеркала озера.

Таблица 3

ПАРАМЕТРЫ ОСНОВНЫХ ОЗЕРНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ ПРИ НОРМАЛЬНОМ ПОДПОРНОМ УРОВНЕ

Водохранилище	Базовые реки (озера)	Площадь, км ²		Глубина, м		Объем, км ³	
		водосбора	зеркала	средняя	максимальная	полный	полезный
Верхне-Свирское	Р. Свирь; оз. Онежское	57300	9840		120	295	13
Кумское (Топо-Пяозерское)	Р. Ковда; оз. Топозеро, Пяозеро, Кундозеро	11300	1930		56	32,3	8,73
Выгозерско-Ондское	Р. Нижний Выг; оз. Выгозеро	20800	1270		20	9,33	1,18
Сегозерское	Р. Сегежа; оз. Сегозеро	6640	815	29	103	23,4	4,1
Юшкозерское	Р. Кемь; оз. Среднее и Нижнее Куйто	9900	398	10,5	35	4,18	0,644
Водлозерское	Реки Вама, Сухая Водла; оз. Водлозеро	4960	322	2,8	16	0,906	0,55
Иовское	Р. Ковда; оз. Соколовское, Ругозеро, Сушозеро	19200	294			2,06	0,545
Янисъярви	Р. Янисйоки; оз. Янисъярви	3460	200	10	57	2,04	0,42
Сандальское	Кондопожский канал; оз. Сандал	6620	185	9,5	58	1,78	0,298
Ондозерское	Р. Онда; оз. Ондозеро	2320	182	3,5	8	0,6	0,37
Пальеозерское	Р. Нивка; оз. Палье	6110	109	18	74	2	0,158

водохранилищ (табл. 4). Здесь расположено около 90% общей полезной емкости водохранилищ, регулируется 63% объема речного стока. В балтийском бассейне воды сосредоточены в основном в озерах, сток менее зарегулирован и реки менее водоносны.

Пресные воды, накапливаемые в озерах и водохранилищах, относятся к стационарным запасам или вековым водным ресурсам с очень низкой скоростью возобновления. При современном водохозяйственном планировании их интенсивное использование обычно не предусматривается из-за возможных отрицательных экологических последствий. Как водные ресурсы эти объекты можно рассматривать лишь с точки зрения способов использования, не меняющих их количественных параметров (водный транспорт, рекреация, рыбное хозяйство). Для водопотребляющих отраслей экономики наибольший интерес представляют динамические запасы, непре-

рывно возобновляющиеся в процессе круговорота воды, т. е. речной сток.

В средний по водности год сток рек Карелии составляет 57 км³. Непосредственно на ее территории формируется 49,7 км³ (так называемый «местный сток»). Остальные воды (13%) поступают из сопредельных регионов (в основном из Финляндии и Архангельской области). Около 55% речного стока с территории республики поступает в Белое море, 25 – в Онежское и 20% – в Ладожское озера (табл. 5). Учитывая многолетние колебания речного стока и исходя из условий наиболее полного удовлетворения в воде всех отраслей экономики, в водохозяйственной практике ориентируются на сток маловодного года, как правило, 95%-ной обеспеченности (повторяемость в среднем один раз в 20 лет). В таких условиях местный сток составляет 63% от среднемноголетнего стока или 31,8 км³ (см. табл. 5).

Таблица 4

ВЕКОВЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ КАРЕЛИИ, РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ПО БАССЕЙНАМ

Бассейны (моря, водной системы)	Озера		Водоохранилища		Всего	
	км ³	%	км ³	%	км ³	%
Бассейн Белого моря						
Ковда	6,42	10,0	34,40	42,8	40,80	28,1
Кемь	14,10	21,7	6,33	7,9	20,40	14,0
Выг	10,20	15,7	29,80	37,2	40,00	27,6
Побережье Белого моря	12,10	18,6	0,38	0,5	12,50	8,6
Суммарно по бассейну Белого моря	42,82	66	70,91	88,4	113,7	78,3
Бассейн Балтийского моря						
а) Бассейн Онежского озера						
Водла	10,10	1,6	1,03	1,3	2,04	1,4
Суна	2,45	3,8	4,42	5,5	6,87	4,7
Шуя	5,22	8,1	0,65	0,8	5,87	4,0
Побережье Онежского озера	4,29	6,6			4,29	3,0
Суммарно по бассейну Онежского озера	12,97	20,1	6,10	7,6	19,10	13,1
б) Бассейн Ладожского озера						
Вуокса (Лендерка)	6,65	10,0			6,65	4,6
Побережье Ладожского озера и р. Свирь	2,55	13,9	3,23	4,0	5,78	4,0
Суммарно по бассейну Ладожского озера	9,20	13,9	3,23	4,0	12,40	8,6
Суммарно по бассейну Балтийского моря	22,20	34,0	9,33	11,6	31,50	21,7
Суммарно по Республике Карелия	65,00	100,0	80,20	100,0	145,2	100

Таблица 5

РЕСУРСЫ РЕЧНОГО СТОКА, км³

Бассейн	Площадь, тыс. км ²	Средний годовой сток	Годовой сток различной обеспеченности			
			25	50	75	95
Р. Кеми	27,7	8,37	9,66	8,48	7,19	5,16
Р. Нижнего Выга	27,1	8,33	9,34	8,24	7,22	5,89
Белого моря	100	31,2	34,2	31,5	27,2	20,5
Р. Шуи	10,3	3,09	3,56	2,99	2,51	1,95
Р. Суны	7,67	2,36	2,71	2,22	1,85	1,54
Р. Водлы	13,7	4,43	5,2	4,43	3,66	2,54
Онежского озера	43,9	14,1	16,3	13,9	11,6	8,74
Ладожского озера	32,6	11,7	13,5	11,7	9,89	7,29
Республики Карелия	176,5	57	65,4	57	48,6	36,4
В том числе						
местный сток	155,9	49,7	57	49,7	42,4	31,8
Приток	20,6	7,35	8,43	7,36	6,27	4,7

Абсолютные показатели не дают полного представления об обеспеченности водными ресурсами. Более показательны относительные характеристики – объем речного стока, приходящийся на единицу площади или одного жителя. Такие удельные цифры превышают средние значения для Российской Федерации приблизительно в 1,3 и 2,3 раза соответственно, хотя и несколько уступают аналогичным показателям Северного федерального округа и большинства областей, входящих в его состав (Бабкин и др., 1991; Литвиненко и др., 1992).

Таким образом, обеспеченность Карелии поверхностными водными ресурсами достаточно высока и количественные параметры не являются фактором, лимитирующим развитие экономики республики (даже учитывая внутригодовую неравномерность речного стока). Существующие проблемы с водоснабжением населения и отдельных хозяйственных объектов имеют либо организационно-технический характер, либо связаны с несоответствием качества воды природных источников предъявляемым требованиям.

Химический состав поверхностных вод Карелии формируется в условиях труднорастворимых коренных пород Балтийского кристаллического щита, хорошо промытых четвертичных отложений и высокой заболоченности, отсюда, как правило, воды маломинерализованные, высокоцветные, с большим содержанием железа.

Поверхностные воды Карелии относятся к категории маломинерализованных вод и очень мягких. На большей части территории они имеют минерализацию воды ($\Sigma\text{и}$) до 25 мг/л. Небольшую площадь занимают озера и реки с $\Sigma\text{и}$ 40–100 мг/л. Водоемов с $\Sigma\text{и}$ свыше 100 мг/л известно не более 10. Для примера можно сказать, что по российским стандартам для питьевых целей можно использовать воду с минерализацией до 1000 мг/л.

Для значительной части территории (до 35%) характерны воды со средним для условий Карелии содержанием органических веществ (ОВ) – мезогумусные (цветность – 35–80 градусов, перманганатная окисляемость – 8–15 мгО/л). На 20% территории распространены воды с высоким содержанием ОВ (цветность – 80–160 градусов и более, перманганатная окисляемость – 15–30 мгО/л и более). Приблизительно такое же распространение имеют воды с низкой гумусностью (олигогумусные, цветность – менее 35 градусов, перманганатная окисляемость – менее 8 мгО/л). По величине рН большую часть поверхностных вод Карелии можно отнести к слабокислым (рН – 5,5–6,5) и нейтральным (рН – 6,5–7,5) водам. Наиболее низкие величины рН (< 5,5) имеют воды сильно заболоченных территорий и небольших озер, имеющих атмосферное питание. Аналогичная картина, как и в распределении содержания

ОВ, отмечается и для железа, что подтверждается высокой степенью зависимости между содержанием ОВ и концентрацией Fe (Лозовик и др., 1991).

Высокое качество имеют воды крупных глубоких озер (большая часть Онежского озера, Сегозеро, Маслозеро, Елмозеро) и малых озер с замедленным водообменом (Кончезерская группа озер, Лижмозеро, Кедрозеро и др.). Воды с хорошим качеством характерны для большей части бассейнов рек Суны, Янисъйоки, Тулемайоки, Лендерки, Свири, а также Ладожского озера, Сямозера, Ондозера, Лексозера, Тулос, Янисъярви и др. К водам с удовлетворительным качеством относится большинство водных объектов с заболоченным водосбором (реки Шуя-Онежская, Видлица, центральная и южная части Выгозерского водохранилища и др.), а также малые озера с атмосферным питанием (Лижменское, Каскеснаволоок, Лангозеро и др.) и эвтрофные для условий Карелии озера (Ведлозеро, Крошнозеро, Святозеро, Пряжинское и др.). Низким качеством воды характеризуются все водные объекты сильно заболоченных территорий (верховья р. Шуи-Онежской, бассейнов рек Верхнего Выга, Койтайоки, Олонки, Тулоксы, Эняйоки и др.), небольшие озера, находящиеся на водоразделах рек и закисленные антропогенным путем (Чучъярви, Кивиярви и др.), а также высокоэвтрофные озера (Коткозеро, Пялозеро, Шаньгима и др.) (рис. 2).

Рассмотренные выше природные особенности гидрографии и водных ресурсов Карелии в совокупности с обуславливающими их климатическими и геолого-геоморфологическими условиями оказывают заметное влияние на характер развития водного хозяйства республики и наиболее характерные водно-экологические проблемы. Основные результаты этого влияния следующие:

1. Малая водоносность рек обуславливает тяготение наиболее крупных водоемких производств и населенных пунктов к большим водоемам, обладающим значительными запасами водных ресурсов для промышленного и коммунально-бытового водоснабжения, или устьям крупных рек. Соответственно, основные объемы загрязняющих веществ от точечных источников поступают именно в такие водные объекты. Поэтому наиболее загрязнены крупные акватории, непосредственно примыкающие к основным промышленным центрам, Кондопожская, Петрозаводская и Большая губы Онежского озера, Выгозеро и Беломорско-Балтийский канал, северная часть Ладоги, оз. Суоярви. Во многих из этих районов проявляются и признаки антропогенного эвтрофирования, чему способствует и функционирование здесь биологических очистных сооружений.

Следует еще раз отметить, что в целом водообеспеченность Карелии высокая, превосходит среднероссийские показатели, и водный

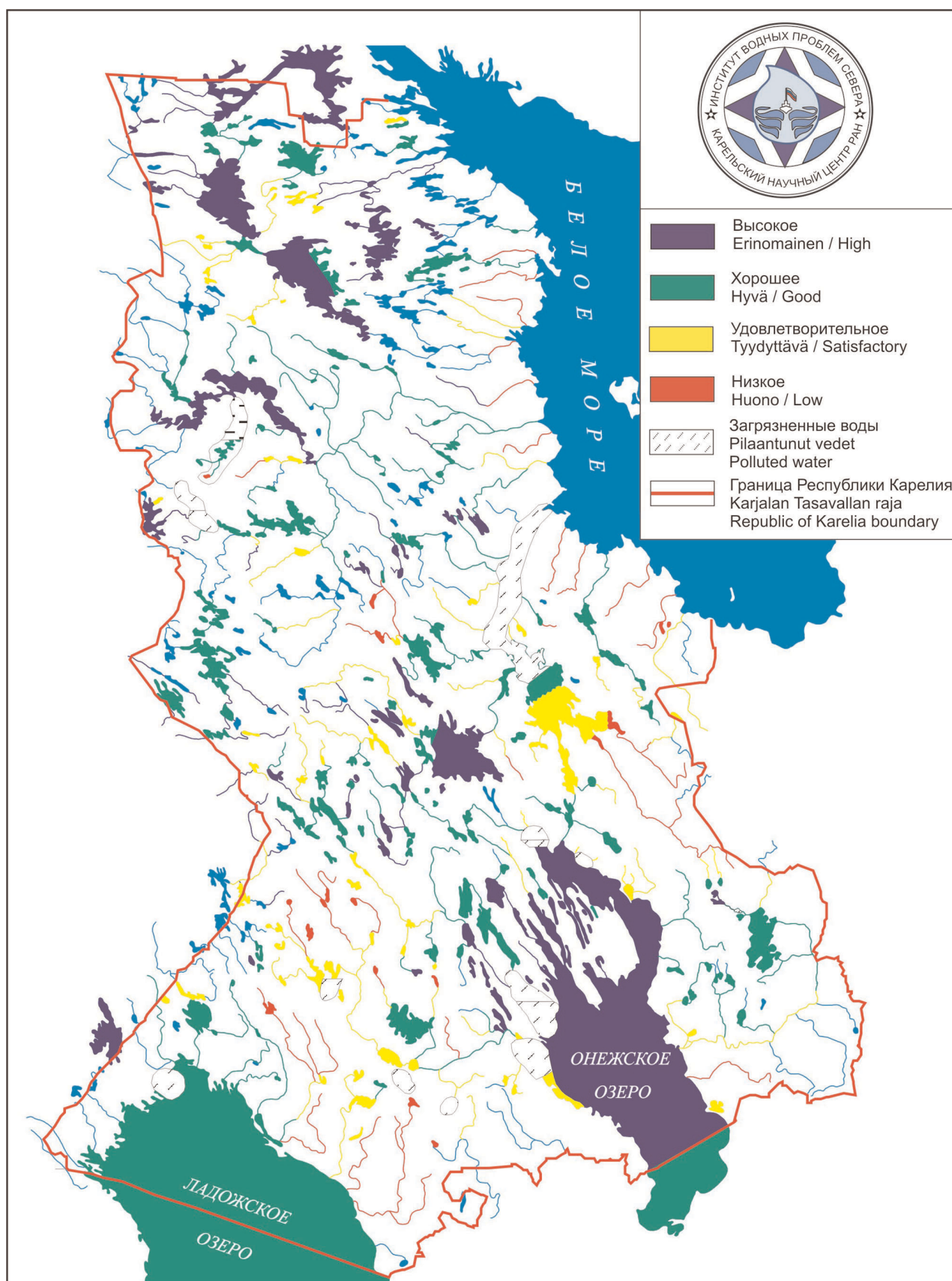


Рис. 2. КАРТА КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

фактор не является лимитирующим для развития экономики.

2. Значительное сосредоточенное падение рек на ограниченных участках создает предпосылки для их энергетического использования, а узкие невысокие водоразделы – для привлечения в этих целях стока из соседних бассейнов. Наличие большого числа озер, входящих в озерно-речные системы, позволяет зарегулировать водотоки с меньшими затратами (путем создания озер-водохранилищ). Но в силу низкой водности рек мощность ГЭС невелика (до 230 Мвт) и одна гидроэнергетика не может полностью покрыть энергетические потребности Карелии.

3. Ступенчатость продольного профиля, небольшая протяженность и сильная порожистость рек сводят к минимуму возможность их использования для судоходства. По этим же причинам большинство крупных глубоководных озер отрезаны от основного для республики Беломорско-Балтийского водного пути и здесь существуют лишь некоторые условия для организации местного каботажного судоходства. В силу этого, эпизодические загрязнения нефтепродуктами характерны только для водных объектов, входящих в состав названного выше водного пути (Ладожское и Онежское озера, Беломорско-Балтийский канал, Белое море). Для внутренних водоемов существует только риск, связанный с развитием там маломерного флота.

4. Высокая увлажненность, широкое распространение болот и заболоченных земель (около 30% территории) в сочетании с небольшими площадями и фрагментарностью естественных сельскохозяйственных угодий и интенсивной вырубкой в прошлые годы лесов в наиболее обжитых районах обусловили широкое развитие лесной и сельскохозяйственной осушительной мелиорации, рассматриваемой нами как отрасль водного хозяйства, при полном отсутствии ирригации. Сброс больших объемов дренажных вод оказывает в ряде случаев негативное влияние на водные объекты, проявляющееся в повышении цветности воды, содержании железа, заилении нерестилищ.

5. Широкое развитие лесного комплекса и возможности зарегулирования рек с помощью плотин в их истоках из озер создают условия для использования водотоков в качестве лесосплавных путей. Но сложный характер продольных профилей и плановых очертаний требуют значительных затрат на гидротехническое обустройство русел. Это, а также серьезный ущерб, наносимый лесосплавом водным объектам, и ряд экономических причин привело в последние годы к полному его прекращению. Однако экологические последствия этого вида водопользования проявляются до сих пор на многих озерно-речных системах.

6. Большие удельные падения, порожистость, незначительный твердый сток, сравнительно устойчивый (зарегулированный озерами) водный режим карельских рек определяют их нерестовую ценность для проходных лососевых рыб.

7. Большой озерный фонд, значительная протяженность нерестовых рек, богатство ихтиофауны создают широкие возможности для развития в регионе рыбного хозяйства (промысел, товарное рыбоводство, акклиматизационные работы). Широкое развитие в настоящее время садкового рыбоводства привело к появлению проблемы локального антропогенного эвтрофирования и загрязнения.

8. Огромное разнообразие чрезвычайно живописных и экзотичных водных объектов предопределяет интерес к ним со стороны рекреации, особенно водного туризма и спортивного и любительского рыболовства. Это обуславливает необходимость разработки уже сейчас комплекса природоохранных мероприятий для данного рода деятельности.

9. Большие запасы поверхностных водных ресурсов при относительно небольших подземных обуславливают незначительное использование последних, хотя в настоящее время они привлекают все большее внимание в связи с неудовлетворительным качеством поверхностных вод.

10. Химический состав поверхностных вод имеет определенную специфику, обусловленную климатическими и геологическими особенностями региона. Большей частью они ультрапресные, с низкой жесткостью, повышенным содержанием органических веществ и железа. Вследствие этого они характеризуются незначительной самоочистительной способностью и буферной емкостью и весьма чувствительны к антропогенному воздействию, в том числе к закислению.

11. Высокое содержание в поверхностных водах органических веществ и железа и низкое – минеральных солей и фтора затрудняют организацию питьевого водоснабжения. Это связано как со слабым развитием систем водоподготовки и водоподачи, так и с низкой эффективностью процесса коагуляции (основного метода обесцвечивания), обусловленной спецификой вод карельского гидрографического региона – ультрапресных, маломутных с низкими температурами в течение большей части года. В настоящее время наиболее рациональным представляется постепенный переход на подземные водоисточники, имеющие, как правило, более высокие питьевые кондиции и более надежную степень защиты от негативного антропогенного воздействия. При невозможности такого варианта решения необходимы разработка и внедрение более совершенных методов водоподготовки.

ЛИТЕРАТУРА

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 2. Карелия и Северо-Запад. Ч. 1. Л., 1972. 528 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 2. Карелия и Северо-Запад. Л., 1965. 700 с.

Гашева В. Ф. Некоторые особенности гидрографии КАССР // Сб. работ Ленинградской гидрометеороbservатории. 1967. Вып. 4. С. 103–114.

Бабкин В. И., Колоколов А. Г., Полад-Заде Л. И. и др. Современная природная обеспеченность СССР // Тр. Гос. гидрологич. ин-та. 1991. Вып. 352: Иссле-

дование условий формирования и расчеты водных ресурсов СССР. С. 3–21.

Литвиненко А. В., Гершензон Т. Е., Карпечко В. И. и др. Комплексное использование водных ресурсов Северного экономического района // Водные ресурсы Карелии и экология. Петрозаводск, 1992. С. 18–35.

Лозовик П. А., Сабылина А. В., Коваленко В. Н. и др. Гидрохимическая характеристика малых озер Карелии // Антропогенные изменения экосистем малых озер (причины, последствия, возможность управления). СПб., 1991. С. 34–37.

СЛОВАРЬ используемых терминов

Аккумуляция – накопление рыхлого минерального материала или органических остатков на поверхности земли; в зависимости от геологического фактора, вызывающего А, выделяют морскую, озерную, речную, ветровую, ледниковую, биогенную; противопоставляется Денудации.

Антропогенное эвтрофирование – повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных и органических веществ под действием антропогенных факторов.

Базис эрозии – поверхность, на уровне которой река теряет свою живую силу и ниже которой не может опуститься.

Бассейн – часть земной поверхности, с которой вода поверхностным или подземным путем стекает в отдельный водный объект (см. Водосбор).

Биогенные вещества – минеральные вещества, наиболее активно участвующие в жизнедеятельности водных организмов; к ним относятся соединения азота, фосфора, калия, кремния, железа и др.

Буферная емкость – количество сильной кислоты или щелочи, которое необходимо добавить к раствору до изменения его pH на 1 единицу.

Водораздел – условная линия на земной поверхности между двумя бассейнами (водосборами) водных объектов, которая разделяет поверхностный или подземный сток по двум разным направлениям.

Водородный показатель (pH) – величина, характеризующая концентрацию ионов водорода в воде (кислотность); чем ниже значение pH, тем выше кислотность.

Водосбор – см. Бассейн.

Гумусность – показатель содержания гумусовых веществ в природной воде, рассчитываемый как среднее геометрическое значение цветности и перманганатной окисляемости.

Густота речной сети – отношение суммы длин всех рек бассейна к его площади; выражается обычно в км/км².

Денудация – совокупность процессов сноса и переноса продуктов выветривания горных пород (водой, ветром, льдом, непосредственным проявлением силы тяжести).

Минерализация природных вод – суммарное содержание в воде минеральных веществ.

Обеспеченность стока – вероятность того, что рассматриваемое значение стока может быть превышено среди совокупности всех возможных его значений.

Озерность территории – отношение суммы площадей озер и водохранилищ к площади всей территории; выражается в %.

Органические вещества природных вод – находящиеся в воде соединения углерода с другими элементами.

Перманганатная окисляемость – косвенная характеристика содержания в воде органических и минеральных веществ; определяется по количеству кислорода, расходуемого на его окисление марганцовокислым калием (мгО/л).

КЛИМАТ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ, ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Л .Е. Назарова

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Учение о климате – климатология – является одной из важнейших частей метеорологии и в то же время частной географической дисциплиной. Слово «климат» происходит от одного из двух или от обоих близких по звучанию греческих слов – «клинейн» и «клима», означающих «наклонять» и «район» или «зона». Введение в научную литературу термина «климат» восходит ко II в. до н. э. Древнегреческий астроном Гиппарх из Никеи так назвал каждую из пяти зон, на которые он разделил Землю. Согласно Гиппарху, Греция находится в зоне с наиболее благоприятными условиями. К северу расположена зона с крайне суровыми климатическими условиями, которые обусловлены сильным наклоном солнечных лучей. Южнее умеренной зоны лежит жаркая безжизненная зона, которая делает недостижимой находящуюся еще южнее умеренную зону с неизвестными населенными землями. На самом же дальнем юге лежит зона, аналогичная северной зоне снега и льда (Монин, Шишков, 1979).

До начала XIX в. представления о том, что климатические условия зависят только от наклона солнечных лучей или высоты Солнца над горизонтом, оставались основными. По А. Гумбольдту, который в своем труде «Космос» дал новое определение климата, на формирование климатических условий оказывают влияние океан с его течениями и суша с разнообразными свойствами подстилающей поверхности. С течением времени понятие климата развивалось постепенно, включая в себя все новые элементы. В современной литературе можно насчитать более десятка различных определений климата. Развитие теории формирования климата потребовало учета взаимодействий процессов в атмосфере, океане, на суше и в ледяных покровах земного шара. Исходя из этого, климат определяют как статистический ансамбль состояний метеорологической составляющей системы атмосфера – океан – суша – криосфера за периоды времени в несколько десятилетий. В некоторых работах называется еще одно звено климатической системы – биосфера. Компоненты климатической системы связывает вода – вещество, которое может находиться в любых фазовых состояниях. Статистический ансамбль – множество, состоящее из известных элементов, причем указано, как часто встречается каждый из элементов. В этом случае для любой количественной характеристики элементов можно найти среднее значение по всему множеству. Климатическая система представляет собой совокупность взаимодействующих между собой и об-

менивающихся энергией различных оболочек планеты (атмосфера, океан, криосфера, литосфера). Эти оболочки объединены в единое целое прямыми и обратными связями так, что изменение в одной из них неизбежно сказывается на состоянии всей системы. Климатическая система открыта для внешних воздействий, но, по мнению многих специалистов, из-за существенно нелинейных взаимодействий может развиваться и за счет своей внутренней динамики. Сложные взаимодействия между звеньями климатической системы обуславливают неоднозначность климата. В результате при одних и тех же внешних условиях на Земле может существовать несколько типов климата. Это утверждение равнозначно утверждению, что климатическая система является системой интранзитивной, а скорее почти интранзитивной. Одним из первых вопрос о возможности неединственности климата Земли поставил Э. Лоренц. Именно он назвал системы, обладающие свойствами эргодичности, интранзитивными. Если при неизменных внешних воздействиях и начальных условиях статистические характеристики системы оказываются различными, представляя разные генеральные совокупности, то такие системы называют интранзитивными. Транзитивные системы – системы, которые при одних и тех же внешних условиях имеют статистически незначимо различающиеся характеристики. В случае транзитивности климатической системы следовало бы признать, что при данных внешних условиях существует единственно возможный климат. Климат Земли в течение исторического времени испытывал значительные колебания, хотя заметных изменений внешних параметров не происходило. Это также может говорить в пользу почти интранзитивности земного климата.

Центральным звеном климатической системы является атмосфера. Это – всепроникающая и самая мощная оболочка Земли. Атмосфера присутствует в любой точке поверхности нашей планеты, в то время как все остальные элементы проявляются лишь на части этой поверхности. Так, океан занимает 70,8% поверхности Земли; суша – 29,2%; ледники находятся на немногим более 3% поверхности, а вместе с морскими льдами и снежным покровом – примерно на 11% поверхности; площадь, занятая биосферой, велика, но она разорвана на ареалы и точных данных о ней нет (Мякишева, 2001).

Масса и состав атмосферы Земли относятся к внутренним по отношению к климатической системе климатообразующим факторам.

Общая масса атмосферы равна около $5,3 \cdot 10^{21}$ г (менее 10^{-6} от массы Земли) (Будыко, 1980). Объем атмосферы, содержащий 99,8% ее массы, ограничивается высотой 60 км и равен $3,82 \cdot 10^{12}$ км³ (Дроздов и др., 1989). Плотность воздуха и атмосферное давление убывают с высотой, причем давление уменьшается вдвое при увеличении высоты приблизительно на 5 км.

Важнейшую роль в формировании климата играют изменчивые составные части атмосферы – водяной пар, углекислый газ и другие малые газовые составляющие, твердые и жидкие примеси (аэрозоль), поскольку они оказывают сильное влияние на потоки солнечной и особенно земной радиации. Еще большее влияние на потоки и притоки лучистой энергии оказывают облака. На границе с космическим пространством атмосфера принимает поток энергии, составляющий 1370 Вт на 1 м², или 1,95 калорий на 1 см² за каждую минуту. Это та энергия благодаря которой непрерывно работает вся климатическая система. Атмосферный воздух более или менее прозрачен для коротковолновой радиации, в связи с чем большая часть поглощаемого Землей излучения Солнца поглощается земной поверхностью, являющейся основным источником тепла для атмосферы. От земной поверхности тепловая энергия передается в атмосферу путем длинноволнового излучения, посредством турбулентного теплообмена и в результате затраты тепла на испарение с поверхности суши и водоемов (это тепло затем поступает в атмосферу при конденсации водяного пара, образованного в ходе испарения).

Атмосфера полностью участвует не только в суточном и годовом (вокруг Солнца) вращении Земли, но и движется по отношению к поверхности твердой и жидкой ее оболочек. Под общей циркуляцией атмосферы понимают совокупность воздушных течений (ветров) такой горизонтальной протяженности (масштаба), которая сравнима с размерами материков и океанов. К общей циркуляции атмосферы относятся такие системы воздушных потоков, как западный перенос в умеренных широтах обоих полушарий, пассатные ветры субтропиков, муссоны, струйные течения, системы движений в планетарных волнах, циклонах и антициклонах. Атмосфера является самым подвижным компонентом климатической системы. Скорость ветра в приземном слое атмосферы в среднем всегда больше 1 м/с, а на значительной высоте она достигает 10 м/с и более. Главной причиной движений атмосферы служит неравномерность распределения тепла между разными поясами Земли. Вследствие этого возникает наклон изотермических поверхностей в тропосфере и образование изобаротермических соленидов. Это приводит к возникновению циркуляции, направленной в верхних слоях от экватора к полюсам, а в нижних –

от полюсов к экватору. У экваторов воздух поднимается вверх, а у полюсов опускается. В результате в приэкваториальной зоне формируется область пониженного давления, а в полярных районах – область повышенного давления. Под воздействием отклоняющей силы вращения Земли эти меридиональные течения стремятся превратиться в зональные. Возмущения зональной циркуляции возникают под влиянием океанических течений и незонального распределения океанов и материков.

Не менее изменчивы свойства подстилающей поверхности: рельеф, шероховатость, альbedo, влажность, снежный и ледяной покров, волнение моря и другие. С точки зрения воздействия на атмосферу, океаны отличаются от континентов прежде всего своими тепловыми свойствами – гораздо большей теплопроводностью (турбулентная теплопроводность в океанах) и теплоемкостью (вода имеет примерно в 4 раза большую удельную теплоемкость, чем воздух, а теплопроводность воды превышает теплопроводность воздуха примерно в 20 раз), а потому и тепловой инерцией, сглаживающей короткопериодные (в том числе суточные и сезонные) температурные колебания (уменьшаются их амплитуды). По этой причине континенты больше охлаждаются зимой и нагреваются летом, чем океаны, и, следовательно, оказываются зимой холоднее, а летом теплее последних. Таким образом, кроме средних годовых температурных контрастов между полюсами и экватором и создаваемой ими атмосферной циркуляцией в нижней атмосфере возникают сезонные (меняющие знак от зимы к лету) температурные контрасты между континентами и океанами и создаваемые ими сезонные циркуляции. Кроме указанных особенностей, также важна роль океана как источника и стока в газовом и аэрозольном обмене с атмосферой. Для океана как компонента климатической системы характерны следующие особенности: 1) большая площадь океана по сравнению с сушей (85% поверхности южного и 61% северного полушария); 2) низкая температура (средняя температура его равна 3,5 °C) и большая теплоемкость по сравнению с атмосферой (теплоемкость верхнего трехметрового слоя океана эквивалентна общей теплоемкости атмосферы); 3) стратифицированность океана, по крайней мере в тропических и умеренных широтах, где существует теплый поверхностный слой, что определяет устойчивость стратификации и изоляцию глубже расположенных холодных вод от атмосферы; 4) благодаря большой теплоемкости и медленности течений изменения в океане происходят значительно медленнее, чем в атмосфере; 5) океаны являются главными источниками влаги для атмосферы (Кондратьев, 1992). Гидросфера, 97,2% которой приходится на воды Мирового океана, имеет объем $1,37 \cdot 10^9$ км³ и массу $1,43 \cdot 10^{21}$ кг. Масса гидросферы в 275 раз

больше массы атмосферы, а объем ее меньше объема атмосферы почти в 279 раз (Дроздов и др., 1989).

По сравнению с другими составляющими климатической системы литосфера является наиболее консервативным компонентом. Основные характеристики ее деятельного слоя меняются относительно медленно под действием таких процессов, как ветровая и водная эрозия почв, изменение условий залесенности, опустынивание и т. д. При возделывании почв в процессе сельскохозяйственного производства, при изменении увлажненности почвы могут существенно измениться теплопроводность почвы, ее отражательная способность и т. д.

Различная теплоемкость воды и суши и особенно различия в способах передачи тепла являются причинами того, что на морях и океанах, на островах и в прибрежных местностях создается особый тип климата, получивший название морского, или океанического. Климат же, создающийся на суше, носит название материкового или континентального. Степень континентальности климата определяется значениями суточных и годовых амплитуд температуры воздуха, величинами влажности и облачности, количеством выпадающих осадков. Для континентального климата характерны большие суточные и годовые амплитуды температуры воздуха, пониженная влажность, меньшее количество облачности, пониженные годовые суммы осадков. Малые амплитуды, повышенные влажность и облачность, значительные суммы осадков свидетельствуют о сильном влиянии моря на климат. Континентальность климата также определяется интенсивностью и повторяемостью потоков воздуха, вторгающихся на материк с океана. Она тем меньше, чем интенсивнее эти потоки и чем чаще они приходят на материк.

Криосфера, хотя и является составной частью суши или океана, но обладает столь специфическими свойствами, что оказывает более сильное (чем равный по площади участок суши) влияние на климат и его колебания. Криосфера Земли – это вся вода в твердом агрегатном состоянии, где бы она ни находилась. Составляющими современного оледенения являются материковые ледниковые щиты и горные ледники, вечная мерзлота и ископаемые льды, морские льды, снежный покров, айсберги и лед в атмосфере. Кроме того, различают постоянное или многолетнее оледенение, с одной стороны, и сезонное, с другой. Из всего объема воды, имеющейся на Земле ($1384 \cdot 10^6$ км³), на криосферу приходится около 2% (Монин, Шишков, 1979). В современную эпоху объем льда в криосфере Земли равен около $24 \cdot 10^6$ км³. Основная масса приходится на Антарктиду. Площадь антарктического льда составляет 90% площади всех ледников поверхности. На Арктику приходится 8% площади ледников и на

горные районы континентов – 2%. По данным искусственных спутников Земли, ледники, морские льды и снежный покров занимают в среднем 10% поверхности Земли, т. е. около $59 \cdot 10^6$ км² (Дроздов и др., 1989). Но роль ее в формировании климата Земли и в его изменениях велика. Криосфера исключительно сильно влияет на альбедо и частично оротографию поверхности земного шара.

Последний компонент климатической системы – биосфера – включает в себя растительный и животный мир континентов и океанов. Свойства биосферы как звена климатической системы в большей степени определяются растительным миром. Виды растительности, занимаемые площади, периоды вегетации растений влияют на условия поглощения солнечной радиации, на влагооборот, газовый обмен. В условиях сельскохозяйственного производства границы растительного покрова непрерывно меняются.

Глобальное потепление климата практически охватило как северное, так и южное полушарие. Глобальное повышение температуры с учетом территории континентов и акватории океанов за последние 100 лет составило 0,83 °C. При этом северное полушарие прогрелось на 0,3 °C больше, чем южное, более океаническое и с большей массой льда. Потепление на территории континентов составило 1,6 °C, а в районе морской поверхности – около 0,8 °C. Таким образом, разница потепления на суше по сравнению с акваторией океана составляет около 0,8 °C (Клиге, 2000).

Возрастающая актуальность проблемы климата и его изменений, обусловленных как естественными, так и антропогенными факторами, выдвигает на передний план задачу мониторинга климата и его изменений. Сложность взаимодействующих между собой процессов в системе «атмосфера – океаны – континенты – криосфера», которые ответственны за формирование климата, диктует необходимость слежения за обширной совокупностью параметров, характеризующих не только климат сам по себе, но и также разнообразные свойства атмосферы, океана, суши и ледяного покрова.

ЛИТЕРАТУРА

- Будыко М. И. Климат в прошлом и будущем. Л., 1980. 350 с.
- Дроздов О. А., Васильев В. А., Кобышева Н. В. и др. Климатология. Л., 1989. 568 с.
- Клиге Р. К. Глобальные гидроклиматические изменения // Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социально-экономические последствия. М., 2000. С. 6–24.
- Монин А. С., Шишков Ю. А. История климата. Л., 1979. 407 с.
- Мякишева Н. В. Закономерности формирования внешнего водообмена и уровня режима озер зоны избыточного и достаточного увлажнения // Дисс. ... докт. геол. наук. СПб., 2001.

СЛОВАРЬ используемых терминов

Атмосфера – воздушная оболочка Земли, состоит из смеси газов (воздуха), в которой взвешены коллоидальные примеси (пыль, капельки, кристаллы и т. д.).

Биосфера – растительный и животный мир континентов и океанов.

Гидросфера – совокупность вод земного шара, водная оболочка Земли.

Интранзитивные системы – системы, которые при неизменных внешних воздействиях и начальных условиях имеют существенно различные статистические характеристики.

Климат – статистический ансамбль состояний метеорологической составляющей системы атмосфера – океан – суша – криосфера за периоды времени в несколько десятилетий.

Климат – статистический режим атмосферных условий (условий погоды), характерный для каждого данного места Земли в силу его географического положения.

Криосфера – это вся вода в твердом агрегатном состоянии, где бы она ни находилась. Составляющими современного оледенения являются материковые ледниковые щиты, горные ледники, вечная мерзлота, ископаемые льды, морские льды, снежный покров, айсберги и лед в атмосфере.

Транзитивные системы – системы, которые при одних и тех же внешних условиях имеют статистически незначимо различающиеся характеристики.

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ КАРЕЛИИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Г. С. Бородулина

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Основные понятия о подземных водах

В широком смысле *подземные воды* – все воды, находящиеся ниже поверхности земли, независимо от фазового состояния и взаимосвязи с породой.

Подземные воды разделяются:

- по степени связи с вмещающими породами на воды *химически и физически связанные, капиллярные и свободные*. С точки зрения использования нас интересует вода в свободном состоянии, способная к самостоятельным формам движения.

- по физическому состоянию – на *парообразные, жидкие, твердые (лед)*;

- по условиям залегания – на *верховодку, грунтовые, артезианские*;

- по типу водовмещающих пород – *поровые, трещинные, карстовые*;

- по генезису (происхождению) – на *инфильтрационные* (в результате просачивания атмосферных осадков до уровня подземных вод), *конденсационные* (в результате конденсации паров воды), *седиментогенные* (захороненные вместе с морскими осадками), *метаморфогенные* (образовавшиеся в пределах литосферы путем преобразования различных видов воды в свободные), *магматогенные или ювенильные* – впервые попавшие в гидролитосферу снизу или при преобразовании магмы);

Подземные воды подразделяются также по химическому составу (учитывается группа макрокомпонентов, микрокомпонентов, газовый состав), минерализации (воды пресные, солоноватые, соленые, рассолы), температуре (воды от холодных до горячих и перегретых), по характеру использования (воды хозяйственно-питьевые, лечебные минеральные, промышленные, теплоэнергетические).

Слои горных пород, насыщенные водой, образуют *водоносные горизонты*. Относительно водонепроницаемые слои (глины, плотные суглинки, нетрещиноватые породы) получили название *водоупоров*.

Мысль об исключительной роли подземных вод в жизни человека сформулировал академик А. П. Карпинский, сказав, что «... нет более драгоценного ископаемого, как вода» (1931). Но в отличие от всех других видов полезных ископаемых, подземные воды обладают уникальным свойством – *возобновляемостью*. В соответствии с этим понятием *запасы подземных вод* (так называемые эксплуатационные запасы) определяются не только и не столько объемом воды, содержащимся в водоносном слое, а тем количеством подземных вод, которое может быть получено при эксплуатации месторождения за счет притока подземных вод. Емкость водоносного горизонта может быть

невелика, но производительность его может быть значительной, если он обеспечен в своем питании. *Питание* водоносного горизонта – поступление воды в горизонт путем инфильтрации атмосферных осадков, поглощения поверхностных вод, притока из соседних горизонтов. В настоящее время широко распространено *искусственное питание* грунтовых вод (дополнительный приток воды в результате орошения, создания водохранилищ, за счет обводнения проницаемых пород). Соответственно *разгрузка* подземных вод – это отток и расходование запасов подземных вод данного водоносного горизонта. *Источниками (родниками)* называются естественные выходы подземных вод на поверхность земли. Образование источника определяется в основном двумя причинами: вскрытие водоносного горизонта эрозийными врезами (понижениями в рельефе) и фильтрационной неоднородностью водонесущих пород.

В настоящее время отмечается тенденция все большего использования подземных вод для водоснабжения населения во многих странах. Это объясняется тем, что подземные воды как источник водоснабжения имеют ряд преимуществ по сравнению с поверхностными водами. Во-первых, подземные воды, как правило, обладают лучшим качеством, более надежно защищены от загрязнения, меньше подвержены сезонным колебаниям. Во-вторых, в большинстве случаев их использование не требует дорогостоящих мероприятий по водоподготовке.

Использование подземных вод Карелии для водоснабжения

Среди экологических проблем Карелии одна из важнейших – проблема обеспечения населения качественной питьевой водой. Хорошо известно, что водоснабжение в Карелии ориентировано практически полностью на поверхностные воды, однако на большей части территории природное качество вод не соответствует нормативам питьевого водоснабжения главным образом из-за высокого содержания в воде гумусовых веществ и железа. Кроме того, поверхностные воды испытывают значительную антропогенную нагрузку, так как промышленные центры республики располагаются на берегах водоемов, в которые и сбрасываются сточные воды промышленных, целлюлозно-бумажных и других предприятий, а также хозяйственно-бытовые стоки.

Доля подземных вод в общем балансе хозяйственно-питьевого водоснабжения республики никогда не превышала 5%, что является наименьшим показателем для регионов России. По районам республики доля использования подземных вод колеблется от 0% в Костомукше, Беломорском, Кемском и Калевальском районах до 70% в Олонецком районе (Государственный доклад..., 2001). Водоснабжение с ис-

пользованием подземных вод обычно децентрализованное. Водозаборы, как правило, состоят из одиночных скважин. Наиболее крупные водозаборы, использующие подземные воды, находятся в г. Олонце, поселках Повенец, Ладва, Матросы, Чална и Новая Вилга. Централизованное снабжение подземными водами организовано только в Олонце. В остальных населенных пунктах эксплуатируются одиночные скважины, оборудованные погружными электрическими или ручными штанговыми насосами, а также колодцы и родники.

Такое положение объясняется несколькими причинами. Во-первых, это сложные гидрогеологические условия региона. Подавляющая часть территории Карелии входит в состав Балтийского бассейна трещинных вод, и только на юге и юго-востоке небольшие площади относятся к окраинам артезианских бассейнов Русской платформы. Практически на всей территории распространены также поровые воды рыхлых отложений четвертичного покрова. Таким образом, за исключением южных окраин подземные воды образуют единый водоносный комплекс четвертичных отложений и верхней трещиноватой зоны кристаллических пород, мощность которой составляет обычно 30–50 м. Ниже этой зоны породы практически безводны. Только на участках тектонических нарушений глубина распространения обводненных трещин увеличивается и местами достигает 150–250 м. Водопитоки в скважины из кристаллических пород, как правило, относительно низкие. Около 50% водозаборных скважин имеют удельный дебит от 0,01 до 0,1 л/с, и только 2% вскрывают зоны с высокими для условий Карелии фильтрационными свойствами – более 1 л/с. Участки расположения таких скважин представляют несомненный интерес для решения вопроса водоснабжения близлежащих населенных пунктов. Возможная производительность водозаборов оценивается здесь в пределах 400–2000 м³/сут (Ресурсы и геохимия..., 1987). Однако необходимо иметь в виду, что такие водообильные скважины следует рассматривать как исключение из правил, и поиски подобных зон являются весьма дорогостоящим делом.

Следует отметить весьма неравномерное распределение запасов подземных вод по площади. Наибольшее эксплуатационное значение принадлежит гдовскому и котлинскому водоносным горизонтам, распространенным на незначительной территории южной Карелии. Современная и перспективная водопотребность полностью обеспечена утвержденными запасами подземных вод из котлинского горизонта только в г. Олонце. В районе г. Петрозаводска утверждены запасы подземных вод в количестве 10,7 тыс. м³/сут из гдовского водоносного горизонта, что недостаточно для города, поэтому необходимы дополнительные изыскания для решения проблемы водоснабжения.

Во-вторых, эксплуатация подземных вод кристаллических пород часто затруднена из-за проблем, связанных с природным качеством воды. Как известно, существует вертикальная дифференциация подземных вод по гидрогеохимическим параметрам: с глубиной закономерно возрастает минерализация, меняется химический тип воды, уменьшается количество растворенного кислорода, что вызывает нарастание концентраций некоторых нормируемых элементов, в первую очередь железа и марганца (Водные ресурсы..., 2006). Вот почему воды большинства скважин, пробуренных в кристаллических породах на глубину несколько десятков метров (многие скважины имеют глубину 100–200 и более метров), отличаются высокими концентрациями железа и марганца, превышающими допустимые нормы. По этой причине в республике не эксплуатируются многие водозаборные скважины или отбор воды из них ведется в ограниченном количестве для хозяйственных целей. В водоносных горизонтах на юге Карелии (Олонецкий район) с глубиной возрастает минерализация воды (более 1 г/л) и содержание хлоридов. Воды из кристаллических пород значительно чаще, чем из четвертичных отложений, обогащены радоном.

Естественно возникает вопрос, почему же при практически одинаковых климатических и геолого-гидрогеологических условиях в соседней Финляндии доля подземных вод в общем водоотборе достигает 50–70%?

Дело в том, что в Финляндии широко эксплуатируются подземные воды четвертичных отложений. Водообильность песчаных отложений на порядок выше, чем кристаллических пород. Производительность водозаборов в Финляндии колеблется от нескольких м³/сут для хуторов до 1000–2000 м³/сут для коллективных потребителей (фото 1). Преимуществом использования вод четвертичных отложений (главным образом флювиогляциальных) являются их довольно широкое распространение, благоприятные условия питания и аккумуляции, неглубокое залегание, высокие фильтрационные свойства, хорошее качество воды.

Следует подчеркнуть, что подземные воды, за исключением котлинского и гдовского горизонтов, на большей части территории республики не имеют естественной защиты от загрязнения (т. е. не перекрыты водонепроницаемыми слоями пород, такими как глины, суглинки). Эксплуатация подземных вод в настоящее время осуществляется главным образом скважинами, пробуренными в непосредственной близости от потребителя. Скважины, как правило, располагаются в пределах населенных пунктов, что исключает возможность создания вокруг них каких-либо охранных зон и не гарантирует надлежащее санитарное состояние водозабора. Особенно уязвимыми для загрязнения являются грунтовые воды четвертичных отло-

жений, что требует тщательного выбора места будущих водозаборов и строгого выполнения мероприятий охраны подземных вод. Грунтовые воды издавна эксплуатируются населением: используются естественные выходы подземных вод на поверхность – родники, или несложные гидротехнические сооружения – колодцы. Около 35% всего населения республики пользуется водой из родников и колодцев. Как правило, эти источники нецентрализованного водоснабжения располагаются непосредственно на территории населенных пунктов и подвергаются значительному хозяйственно-бытовому загрязнению. Основными элементами-загрязнителями являются азот (наиболее токсичная его форма – нитраты), калий, хлориды, нефтепродукты, иногда тяжелые металлы, характерно микробное загрязнение. Около 40% исследованных проб воды не отвечает нормам по санитарно-химическим показателям (Государственный доклад..., 2001). Основными причинами такого высокого уровня загрязнения грунтовых вод являются, как уже упоминалось, их природная незащищенность и отсутствие элементарных мероприятий по охране вод от загрязнения.

В Финляндии к строительству колодцев относятся очень серьезно. Во-первых, место выбирается так, чтобы в области питания грунтовых вод не было очагов загрязнения, во-вторых, соблюдается технология сооружения колодца: обеспечивается надежная изоляция от проникновения поверхностного стока (водонепроницаемые стыки между бетонными кольцами, глиняный замок вокруг колодца, в случае необходимости – покрытие полиэтиленовой пленкой, крышка с вентиляцией над сооружением) (фото 2, 3). Обязательна организация зон санитарной охраны водозабора. На фото 1 запечатлен один из подземных водозаборов г. Каяни с огороженной зоной строгого режима. Зоны санитарной охраны, предназначенные для предупреждения загрязнения подземной воды, по всей стране помечены специальными знаками. На этих территориях запрещены все виды хозяйственной деятельности, приводящие к ухудшению качества воды, например, даже не разрешается остановка автотранспорта на обочинах дорог, проходящих по таким участкам, а сами дороги в этих местах строятся с дополнительными мероприятиями по обеспечению изоляции водоносного горизонта. В Финляндии проведено районирование подземных вод и выделены перспективные территории их залегания, и проводится строгая политика по охране этих районов, даже если эксплуатация подземных вод в настоящее время не производится. К сожалению, в нашем регионе многие перспективные для водоснабжения песчаные участки вблизи населенных пунктов загрязнены в результате организованных и неорганизованных свалок мусора и отходов производства.



Рис. 1. ВОДОЗАБОР ИЗ ФЛЮВИОГЛЯЦИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ (ФИНЛЯНДИЯ)



Рис. 2. СТРОИТЕЛЬСТВО ВОДОЗАБОРНОГО КОЛОДЦА
(ЭТАП ИЗОЛЯЦИИ СТЫКА МЕЖДУ КОЛЬЦАМИ)



Рис. 3. СТРОИТЕЛЬСТВО ВОДОЗАБОРНОГО КОЛОДЦА (ИЗОЛЯЦИЯ ОТ ПОВЕРХНОСТИ СТОКА)



Рис. 4. БУРЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СКВАЖИНЫ
В ПЕСЧАНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

На основании проведенной оценки эксплуатационных ресурсов подземных вод Карелии (Ресурсы и геохимия..., 1987) и в результате разведочных работ, проведенных в последние годы (Водные ресурсы..., 2006), сделан вывод о том, что в Карелии имеются все предпосылки для более широкого и рационального использования подземных вод. Водоснабжение большинства небольших поселков и деревень, животноводческих ферм, а при благоприятных гидрогеологических условиях и крупных населенных пунктов может полностью и частично решаться за счет подземных вод четвертичных отложений. Наиболее высокий водоприток можно получить в районах, сложенных песчаными, главным образом флювиогляциальными отложениями мощностью 10 и более метров. Такие отложения не имеют повсеместного распространения, но в отдельных районах занимают значительные площади.

С 1991 г. совместно с финскими коллегами проводятся исследования по разведке и оценке запасов подземных вод из четвертичных отложений в Карелии (Водные ресурсы..., 2006). С помощью мобильного полевого оборудования осуществляются разведочные и опытно-фильтрационные работы на перспективных участках, определяются гидрогеологи-

ческие параметры водоносных горизонтов, оценивается количество и качество подземных вод (фото 4).

В результате проведенных исследований утверждены запасы подземных вод для г. Суоярви, поселков Калевала, Поросозеро, Пряжа. На Суоярвском месторождении уже построены эксплуатационные колодцы. Препятствием для ввода в эксплуатацию этого месторождения в ближайшее время является его удаленность от города (около 14 км), что требует значительных средств на строительство водовода. В 2006–2007 гг. планируется ввести в эксплуатацию Пряжинское месторождение подземных вод. Перспективные участки выявлены в районе ряда других поселков: Лоухи, Чупа, Пряжа, Челмужи, Матросы.

ЛИТЕРАТУРА

Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 1999 году. Петрозаводск, 2001. 247 с.

Ресурсы и геохимия подземных вод Карелии. Петрозаводск, 1987. 151 с.

Водные ресурсы Республики Карелия и пути их использования для питьевого водоснабжения. Опыт карельско-финляндского сотрудничества / Ред. Н. Филатов и др. Петрозаводск, 2006. 263 с.

СЛОВАРЬ используемых терминов

Водоносный горизонт – толща горных пород, насыщенная водой, ограниченная сверху и снизу (а иногда только снизу) водоупорными горизонтами.

Грунтовая вода – гравитационная вода первого от поверхности земли водоносного горизонта на выдержанном по площади водоупоре.

Загрязнение подземных вод – процессы изменения качества воды в результате хозяйственной деятельности человека, которые делают эту воду частично или полностью непригодной для использования.

Запасы подземных вод эксплуатационные – часть естественных запасов, которые могут быть получены наиболее рациональными в технико-экономическом отношении водозаборными сооружениями.

Источник (родник, ключ) – естественный выход подземных вод на поверхность земли.

Минеральные воды – подземные воды, которые оказывают благотворное бальнеологическое действие на организм человека из-за содержания в них отдельных терапевтически активных компонентов, особенностей химического, газового состава и температуры.

Подземная вода – вода, находящаяся ниже поверхности земли в любых физических состояниях, включая и химически связанную.

ВЛИЯНИЕ РУБОК УХОДА НА РЕЧНОЙ СТОК КАРЕЛИИ

Н. Л. Бондарик

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Карелия богата лесными ресурсами, но в результате многолетней эксплуатации на больших площадях на месте коренных лесов сформировались вторичные смешанные древостои. Во многих случаях экономически более целесообразно переформировать насаждения, находящиеся в непосредственной близости от населенных пунктов с их инфраструктурой, чем осваивать новые труднодоступные территории. Рубки ухода позволяют не только улучшить качественный состав насаждений, но и начать пользование древесиной до наступления спелости древостоя.

Уходу за лесом начали уделять большое внимание в середине 60-х гг. XX в. В 1970–1980-е гг. объемы ухода в Карелии достигали 60 тыс. га ежегодно, в 2000–2004 гг. они составляли около 25 тыс. га, т. е. 25–30% от объема, установленного лесостроительством (Саковец, Иванчиков, 2005 и др.)

Рубки ухода за лесом – это комплекс лесохозяйственных мероприятий, направленных на формирование ко времени главной рубки необходимого состава насаждения, наиболее выгодной товарной структуры, сокращение сроков выращивания технически спелой древесины главных пород. Рубки ухода часто называют рубками промежуточного пользования, однако их главная задача – целевое выращивание леса, обеспечение непрерывного и неистощительного лесопользования.

Уход проводится с момента смыкания крон молодого насаждения и заканчивается за 10–20 лет до главной рубки. Рубки ухода делятся на уход за молодняками (осветление, прочистки), прореживания и проходные рубки. В случае молодняков уход проводится за составом древостоя, для более старших насаждений – за их запасом. Для территории Карелии рекомендованы следующие сроки проведения этих мероприятий (табл.):

СРОКИ ПРОВЕДЕНИЯ РУБОК УХОДА
В ЛЕСАХ КАРЕЛИИ (НАСТАВЛЕНИЕ..., 1995)

Виды рубок ухода	Возраст насаждений, лет			
	Хвойных		Лиственных	
	Средняя тайга	Северная тайга	Средняя тайга	Северная тайга
Уход за молодняками	до 20	до 30	до 20	до 30
Прореживания	21–40	31–50	21–30	31–40
Проходные рубки	выше 40	выше 50	выше 30	выше 40

После прореживания насаждения рубками улучшаются условия питания и освещения, из-

меняется структура фитомассы древостоя (в основном за счет повышения доли хвои (листвы) и охвоенных ветвей), в результате отдельные деревья обычно увеличивают прирост. Но так как при этом снижается количество стволов на единице площади, итоговое изменение текущего прироста насаждения зависит от сочетания интенсивности выборки, с одной стороны, и возраста и бонитета насаждения, с другой. Наиболее высокий эффект ухода соответствует лучшему древостою, поэтому рубки ухода назначаются в насаждениях не ниже IV класса бонитета.

Чтобы оценить изменение текущего прироста насаждений, по литературным данным нами собраны сведения о возрасте, запасе и приросте древостоя после рубок ухода и на контрольных площадях. Большая часть доступной информации касается сосняков, поэтому в дальнейшем речь пойдет именно о них. Увеличение текущего прироста сосняков после ухода по сравнению с контрольным насаждением составляет от 5 до 240%, однако возможно и снижение прироста при слишком интенсивной вырубке. На рис. 1 показаны зависимости прироста изреженных и не тронутых рубкой сосняков от их возраста. Получены аппроксимации вида:

$$\Delta \text{Зап} = a \cdot \text{Зап} \cdot \exp(-b \cdot \tau),$$

где $\Delta \text{Зап}$ – прирост, Зап – запас, τ – возраст насаждения, a и b – коэффициенты, равные соответственно 0,1410 и 0,0264 для древостоя, пройденного рубками ухода, 0,3563 и 0,0560 для контрольного насаждения. Низкие коэффициенты корреляции (0,53 и 0,46 соответственно) объясняются проведением рубок по разным схемам в сосняках разного типа.

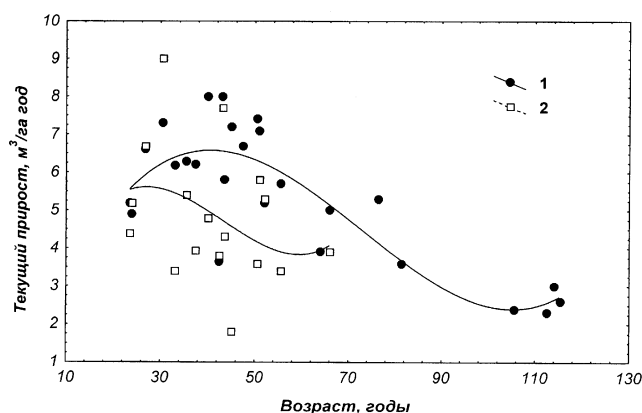


Рис. 1. ЗАВИСИМОСТЬ ТЕКУЩЕГО ПРИРОСТА СОСНЯКОВ ОТ ИХ ВОЗРАСТА

(1 – насаждение, пройденное рубкой ухода, 2 – контрольное насаждение)

Для оценки изменения испарения и стока с водосбора, пройденного рубками ухода, рассматривался модельный водосбор, покрытый после сплошной вырубki 20-летней сосной. Рубки ухода моделировались в трех вариантах: 1) 3 ухода в 20, 40 и 60 лет с выборкой 50, 30 и 15% по объему соответственно, 2) 3 ухода в 20, 40 и 60 лет с выборкой 30, 30 и 15% по объему, 3) 2 ухода в 40 и 60 лет с выборкой 40 и 30% по объему. Прирост насаждений после рубок задавался по зависимостям вида (1), полученным по таксационным таблицам для сосны каждого бонитета (Лесотаксационный справочник, 1980), ввиду малой надежности коэффициентов, полученных по разрозненным литературным источникам. Запас насаждений на контрольном водосборе для каждого класса возраста принимался по тем же таблицам.

Среднегодовой сток с водосбора до 80-летнего возраста леса рассчитывался по методу водного баланса (т. е. как разность между осадками и испарением). Испарение определялось по методу О. И. Крестовского (Карпечко, Бондарик, 2002), осадки и испаряемость приняты средними для Карелии. Результаты расчетов показаны на рис. 2.

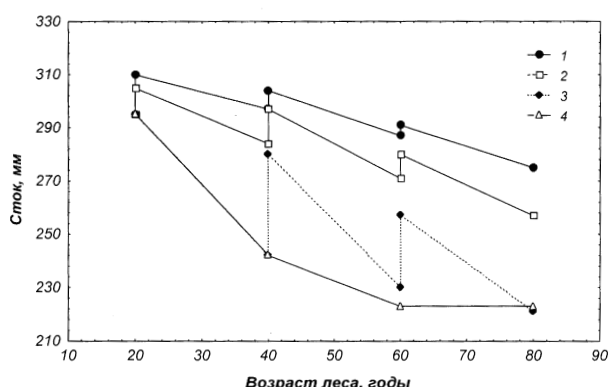


Рис. 2. СТОК С ВОДОСБОРА ПРИ РАЗНЫХ ВАРИАНТАХ УХОДА:

1) 3 ухода в 20 (50%), 40 (30%) и 60 лет (15%); 2) 3 ухода в 20 (30%), 40 (30%) и 60 лет (15%); 3) 2 ухода в 40 (40%) и 60 лет (30%); 4) контрольный водосбор

Как видно на рис. 2, рубки ухода, начатые своевременно (варианты 1 и 2), позволяют избежать такого резкого изменения стока с водосбора, как сплошнолесосечные (Бондарик, 2003). Увеличение стока после такого ухода зависит от возраста насаждения и объема выборки древесины, но не превышает 10%, в то время как полное сведение леса на участке вызывает рост стока в первый год примерно в 2 раза. Повышение уровня механизации работ в лесу вызвало в последнее время тенденцию более редкого, но интенсивного изреживания насаждений. Многие лесоводы считают, что это оправдано не только экономически, но и биологически. Однако в этом случае колебания стока оказываются более значительными, как, например, в третьем варианте, когда первый уход проведен поздно и насаждение уже имеет существенный запас. Испарение на контрольном водосборе (вариант 4) последовательно увеличивается до 60-летнего возраста леса по мере его роста.

Таким образом, рубки промежуточного пользования с точки зрения водного баланса водосбора являются более щадящими, так как позволяют избежать резких изменений стока. Но следует иметь в виду, что рубки ухода – только предварительные мероприятия, которые ускоряют достижение лесом товарной спелости, и за ними неизбежно следуют сплошные рубки.

ЛИТЕРАТУРА

Бондарик Н. Л. Влияние рубок леса на речной сток Карелии // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск, 2003. С. 72–74.

Карпечко Ю. В., Бондарик Н. Л. Влияние возможного потепления на испарение с лесных водосборов Восточной Финноскандии // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 1. С. 103–106.

Лесотаксационный справочник. М., 1980. 288 с.

Наставление по рубкам ухода в лесах Республики Карелия. Петрозаводск, 1995. 39 с.

Саковец В. И., Иванчиков А. А. Динамика лесопользования и состояние лесного фонда Карелии // Лесоводственно-экологические аспекты хозяйственной деятельности в лесах Карелии. Петрозаводск, 2005. С. 8–18.

СЛОВАРЬ используемых терминов

Бонитет насаждений – показатель добротности и производительности почвы, по которому в условных единицах (классах) дается представление о продуктивности леса. Лучшие условия произрастания, а значит, наиболее высокопродуктивный лес обозначаются I классом бонитета. Худшие условия и соответственно низкопроизводительные насаждения имеют V класс бонитета.

Запас древесины – объем стволовой древесины на единице площади леса.

Прирост древесины (текущий) – увеличение запаса древесины за год.

Уравнение водного баланса отражает закон сохранения вещества для речного водосбора. Применительно к многолетнему периоду для достаточно большого бассейна сток за гидрологический год равен разности выпавших осадков и испарения за тот же период.

КИСЛОТНЫЕ ДОЖДИ И ПРОБЛЕМА ЗАКИСЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

И. Ю. Потапова

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

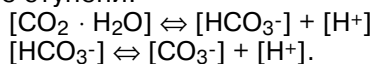
Атмосферный воздух представляет собой смесь различных газов. Основную массу воздуха составляют кислород и азот, в небольшом количестве присутствуют благородные газы (аргон, неон, гелий, криптон, ксенон, радон), водород, диоксид углерода и водяные пары. Кроме перечисленных газов, в воздухе содержится некоторое количество пыли и примеси. Кислород, азот и благородные газы считаются постоянными составными частями воздуха, их содержание практически не меняется. Содержание диоксида углерода, водяных паров, пыли и примесей изменяется в зависимости от условий.

Водяные пары находятся в воздухе в различных количествах: от долей процента до нескольких процентов. Их содержание зависит от местных условий и температуры.

Пыль, находящаяся в воздухе, состоит в основном из частиц минеральных веществ, образующих земную кору, частичек угля, пыльцы растений, различных бактерий (Глинка, 1985).

При влажности воздуха 100% в процессе образования облаков и туманов влага конденсируется на аэрозолях (ядрах конденсации), которые представляют собой мельчайшие кристаллики галита, кальцита, гипса, доломита, частицы дыма, капли газовых растворов (SO_2 , HCl и др.), органические вещества. Растворение компонентов аэрозолей формирует первоначальный химический состав атмосферных осадков. Капли воды, из которых состоят облака, растворяют присутствующие в атмосфере вещества. В химическом составе капель и снежинок обнаружены хлориды, сульфаты, нитраты, ионы аммония, кальций, магний, натрий, калий. Выпадение снега и дождя является вторым этапом формирования химического состава атмосферных осадков. За время движения к поверхности земли капли и снежинки захватывают аэрозоль, обогащаясь его компонентами (Никаноров, 1989).

Диоксид углерода образуется в результате различных процессов: при горении лесов, дыхании животных, гниении, вследствие вулканической деятельности, а также из подземных источников, большое количество CO_2 поступает в атмосферу в результате сжигания топлива. Взаимодействие диоксида углерода с влагой атмосферы приводит к образованию угольной кислоты, которая диссоциирует в две ступени:



Исходя из расчетов, концентрация ионов водорода в равновесном водном растворе при 20°C составляет $2,5 \cdot 10^{-6}$ моль/л, тогда pH, определяемый как отрицательный логарифм концентрации ионов водорода, соответственно будет равен 5,6. Это значение принято считать равновесным значением pH для незагрязненных атмосферных осадков (Никаноров, 1989).

В естественных условиях атмосферные осадки содержат различные примеси, влияющие на значение pH. Присутствие морских солей, а также почвенной пыли, как правило, повышает pH осадков. Но уже многие десятилетия ученых беспокоит проблема закисления атмосферных осадков и выпадения кислотных дождей. Кроме диоксида углерода в воздухе атмосферы присутствуют и другие кислотообразующие вещества естественного происхождения: сероводород, диоксид серы, оксиды азота, соляная и азотная кислоты, органические кислоты, но их концентрации в незагрязненной атмосфере незначительны. Большое количество веществ, приводящих к закислению атмосферных осадков, связано в первую очередь с антропогенным загрязнением атмосферы выбросами оксида серы и окислов азота.

В результате экспериментальных исследований было установлено, что в геохимически чистых зонах основной вклад в кислотность осадков вносит диоксид углерода (около 80%), в то время как суммарный вклад серной и азотной кислот составляет ~ 10%. В регионах с высокой степенью индустриализации 60% кислотности обусловлено наличием серной кислоты, 30% – азотной, 5% – соляной и только около 2% растворением диоксида углерода (Израэль, 1989).

Источники поступления соединений серы и азота в атмосферу

К наиболее важным соединениям серы, находящимся в атмосфере, относятся диоксид серы (SO_2), оксисульфид (COS), сероуглерод (CS_2), сероводород (H_2S), диметилсульфид ($(\text{CH}_3)_2\text{S}$). Последние четыре соединения вследствие сильного окислительного действия атмосферы легко превращаются в диоксид серы или серную кислоту.

Выделяют три основных источника поступления соединений серы естественного происхождения в атмосферу. Первый связан с разрушением органического вещества биосферы анаэробными бактериями. Содержащаяся в

органическом веществе сера переходит в газообразные соединения и поступает в атмосферу. Наиболее важными источниками этих газов являются болота, зоны приливов и отливов у береговой линии морей, устья рек и некоторые почвы, содержащие большое количество органических веществ. Морские водоросли выделяют в атмосферу диметилсульфид, метилсульфид, карбонилсульфид и др.

Вторым источником являются вулканы. При извержении вулканов в атмосферу попадают диоксид серы, сероводород, сульфаты, элементарная сера, сажевые частицы, соединения кальция, магния, хлориды и др.

Третий источник – поверхность океанов и морей. В процессе испарения вместе с водой с поверхности океана в атмосферу поступают морская соль, а также соединения серы – сульфаты. Однако из сульфатов морского происхождения не может образоваться серная кислота, и они не участвуют в образовании кислотных дождей (Хорват, 1990).

Мощным источником поступления соединений серы является хозяйственная деятельность человека. Полезные ископаемые, такие как уголь, нефть, железные, медные и другие руды, содержат значительное количество серы, которая в процессе переработки или сжигания окисляется и поступает в атмосферу в основном в виде диоксида серы.

Среди азотсодержащих соединений кислотную среду в атмосфере создает азотная кислота, образующаяся из оксидов азота – NO , NO_2 .

Оксиды азота поступают в атмосферу из почвы. Бактерии, живущие в почве, в результате своей деятельности освобождают оксиды азота из нитратов.

Другой важный источник азота – это электрические разряды в атмосфере. Вследствие очень высокой температуры воздух переходит в плазменное состояние, и молекулярный азот и кислород соединяются в оксиды азота.

Третий источник азота – горение биомассы. Наибольшее количество биомассы сгорает в результате сжигания леса и пожаров в саванне.

Существуют и другие источники поступления азота в атмосферу. К ним относятся биогенный круговорот азота в природе, миграция оксидов азота из стратосферы в тропосферу, образование оксидов азота в результате фотоинициированного (т. е. под действием света) химического разложения нитритов, содержащихся в морской воде.

Среди антропогенных источников образования оксидов азота на первом месте стоит горение ископаемого топлива. Во время горения в результате возникновения высокой температуры находящиеся в воздухе азот и кислород соединяются. С учетом особенностей процесса горения основным источником оксидов азота являются двигатели внутреннего сгорания (Хорват, 1990).

Попадая в атмосферу, диоксид серы и оксиды азота взаимодействуют с водными каплями облаков и выпадающего дождя, образуют кислоты и соли, зачастую еще более токсичные. При этом следует отметить, что кислотные дожди могут выпадать на значительных расстояниях от источника выброса веществ.

Экологические последствия воздействия кислотных осадков

Выпадение кислотных дождей приводит к серьезным экологическим изменениям. Кислотные дожди причиняют вред растительности, повреждая покровные ткани, изменяя в клетках обмен веществ, нарушая рост и развитие растений, тем самым уменьшается сопротивляемость к болезням и паразитам. Кислотные осадки вымывают тяжелые металлы из почв, повышая их токсичность, а также меняют соотношение между содержанием в почве кальция и алюминия в сторону уменьшения кальция, что задерживает рост корневой системы растений.

Выпадение кислотных осадков способствует усилению коррозии различных материалов и конструкций, разрушению зданий и сооружений, памятников старины.

Кислотные дожди оказывают негативное воздействие на водоемы, меняя их химический состав, что приводит к серьезным изменениям всей экосистемы водного объекта. Попадая в водоемы, такие осадки изменяют pH среды, гидрохимический режим водоемов и видовой состав гидробионтов. При нагрузках выше критических может наблюдаться гибель особей и даже исчезновение видов.

Биологические эффекты закисления начинают проявляться уже при $\text{pH} < 6,5$, когда происходит нарушение микробиологических процессов. При небольшом закислении ($\text{pH} = 6,0$) наблюдается снижение численности популяций водорослей, многих видов фито- и зоопланктона (ракообразных, коловраток), происходит гибель моллюсков, улиток. Многие виды рыб, например, плотва, гольян, лосось, форель, карп чувствительны к закислению, и снижение pH воды от 6,0 до 5,5 становится для них опасным. В кислых водах ($\text{pH} = 4,5$) наблюдается нарушение кислотно-щелочного и ионного равновесия в жабрах рыб. Кроме того, при подкислении из донных осадков и окружающих почв вымываются токсичные металлы. Так, например, алюминий в форме гидроксида алюминия осаждается на жабрах рыбы, в результате снижается поступление кислорода в кровь, нарушается баланс содержания солей в теле рыбы. Ртуть при pH ниже 6,0 переходит в органическую, ядовитую форму и отравляет организм рыбы. При $\text{pH} < 5,5$ репродуктивность многих рыб падает, а при $\text{pH} < 4,5$ – практически прекращается. При pH ниже 5,5 начинается бурное развитие кислотолюбивых организмов – мхов, грибов и нитчатых водорослей. Они

вытесняют всю остальную водную растительность. Сфагновый мох извлекает из воды кальций, еще больше изменяя ее химический состав. Вымирают все новые виды рыб, в том числе щуки и окуни. Когда pH достигает 4,5, рыбы в озере уже не остаются. Подавляется бактериальная активность, и на дне озера накапливаются отмершие листья и другие органические остатки, под которыми начинают развиваться бескислородные процессы с выделением метана и сероводорода.

Защелачивание пресных вод губительно для птиц, живущих на реках и озерах. В защелачиваемых водоемах почти нет рыбы, что определяет дефицит пищи для взрослых птиц. А высокое содержание тяжелых металлов нарушает репродуктивные процессы и ведет к снижению численности популяций птиц (Израэль, 1989).

Химический состав атмосферных осадков Карелии

Для Карельского региона проблема выпадения кислотных осадков и защелачивания поверхностных вод является очень актуальной. На химический состав атмосферных осадков, выпадающих на территории Карелии, влияет как локальное загрязнение атмосферы выбросами промышленных предприятий, так и трансграничный перенос примесей от стран Европы. Местные аэрогенные выбросы приводят к загрязнению атмосферных осадков в районах крупных промцентров: Костомукши, Петрозаводска, Кондопоги, Сегежи, Надвоиц. Их влияние ограничивается радиусом около 30 км. Большей частью выпадение сильных кислот связано с трансграничным переносом воздушных масс. В среднем с 1985 по 1996 гг. поступление защелачивающих веществ из европейских стран составило 49 тыс. т S/год и 22 тыс. т N/год, тогда как собственные выпадения S – 21 тыс. т S/год, азотистых соединений – 0,4 тыс. т N/год, а вынос за пределы республики – 32 тыс. т S/год и 2,2 тыс. т N/год (Межрегиональное..., 1998).

Исследования химического состава атмосферных осадков проводятся лабораторией гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН с 1989 г. и в основном осуществляются отбором снеговых проб. Пробы снега отбирались на чистых участках и вблизи промышленных центров, чтобы выяснить их влияние на загрязнение снежного покрова.

Пробы снега отбираются пластмассовой лопаткой на всю глубину снежного покрова в вершинах треугольника со сторонами 25 м. После доставки в лабораторию снег полностью растапливается при комнатной температуре для дальнейшего проведения химических анализов талой воды.

Результаты анализов показывают, что атмосферные осадки на территории Карелии имеют кислый характер. Вблизи промышленных цент-

ров pH в среднем составляет 4,9–5,5. В районах, где отсутствуют локальные источники загрязнения, pH = 4,7–5,1, а в среднем по всей территории Карелии – 5,0. Поскольку равновесная величина pH для атмосферных осадков составляет 5,6, то более низкие величины pH указывают на влияние защелачивания, и эти осадки представляют опасность для водных объектов. Содержание сульфатов в талой снеговой воде изменяется от 0,3 до 13,3 мг/л. С одной стороны, это связано с пылевидными выбросами цемента вблизи промышленных предприятий, с другой – выпадениями серной кислоты. Также можно отметить высокое содержание в осадках нитратов (0,1–0,4 мг N/л). В целом выпадение сильных кислот составляет 11 ммоль/м² в год (Лозовик, Потапова, 2006).

Среди других загрязнителей наблюдается повышенное содержание калия в пробах снега в районе Костомукши, что связано с влиянием Костомукшского горно-обогатительного комбината, Al и F в районе Надвоицкого алюминиевого завода. В промышленных районах отмечается загрязнение всех проб снега нефтепродуктами.

Устойчивость поверхностных вод к защелачиванию

Интенсивность защелачивания водоема определяется не только количеством выпавших кислотных осадков, но и способностью водного объекта нейтрализовать поступающую кислоту, что зависит от химических свойств подстилающих пород, мощности почвенного слоя и состава почвы вокруг озера. Наибольшему защелачиванию подвергаются озера, ложе которых образуют изверженные породы (граниты, гнейсы, базальты), и имеющие тонкий почвенный слой на площади водосбора. Изверженные горные породы отличаются высокой химической стойкостью и не оказывают значительного влияния на химический состав воды. Озера в таких районах имеют слабую минерализацию воды и низкое содержание кальция и магния. Кальцинированные минералы типа известняка и доломита обладают высокой защелачиваемостью, поэтому водоемы, расположенные в этих районах, имеют высокую минерализацию и устойчивы к защелачиванию. Все кислоты, поступающие с атмосферными осадками, нейтрализуются либо в самом озере, либо в водотоках на площади водосбора. В таком случае говорят о высокой буферной способности ложеобразующих горных пород (Израэль, 1989).

Водоемы Карелии расположены на Балтийском кристаллическом щите, основу которого составляют изверженные породы, поэтому они обладают низкой минерализацией и щелочностью и очень чувствительны к действию кислотных осадков.

В качестве критериев устойчивости водных объектов к защелачиванию в мировой практике используют показатели: pH, щелочность, кислото-

нейтрализующая способность (ANC), соотношение молярных концентраций анионов $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ (Моисеенко, 1997) и буферная емкость воды (Лозовик, 2006).

Буферная емкость воды показывает, как изменяется pH с поступлением сильных кислот. Она зависит от pH, содержания гидрокарбонатов (щелочности), CO_2 (кислотности), органических кислот и их солей.

Природные воды Карелии разнообразны по химическому составу и обладают разной устойчивостью к закислению (табл.).

НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КИСЛОТНО-ОСНОВНОГО РАВНОВЕСИЯ И БУФЕРНОЙ ЕМКОСТИ ПРИРОДНЫХ ОБРАЗЦОВ ВОДЫ

Водный объект	pH	Alk, ммоль-экв/л	Цветность, град.	Acid	β
				ммоль-экв/л	
Оз. Иматозеро	6,82	0,29	25	0,10	0,17
Оз. Пряжинское	6,80	0,23	90	0,10	0,14
Оз. Укшезеро	7,16	0,49	25	0,02	0,18
Оз. Сямозеро	6,93	0,15	40	0,05	0,10
Оз. Исо-Пюхярви	6,11	0,08	120	0,13	0,11
Оз. Суоярви	6,08	0,05	130	0,11	0,09
Р. Шуя	5,91	0,05	140	0,14	0,10
Оз. Лижменское	6,14	0,04	35	0,09	0,06
Оз. Салонъярви	5,57	0,02	160	0,09	0,07
Оз. Вуонтеленъярви	4,55	< 0,01	180	0,31	0,12

В таблице представлены данные по некоторым водным объектам бассейна р. Шуи, которые отличаются между собой по величине щелочности (Alk), цветности, кислотности (Acid) и pH воды.

Исходя из полученных данных по буферной емкости (β), можно отметить, что наибольшую устойчивость к закислению имеют водные объекты с повышенной щелочностью (озера Иматозеро, Пряжинское, Укшезеро, Сямозеро) и кислые гумусные воды (озера Салонъярви,

Вуонтеленъярви). В первом случае это связано с высокой концентрацией гидрокарбонатов, а во втором – с кислым характером вод. Низкощелочностные водные объекты (озера Исо-Пюхярви, Суоярви, Лижменское и р. Шуя) характеризуются слабой устойчивостью к закислению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Закисление водных экосистем в результате выпадения сильных кислот с атмосферными осадками является одним из факторов антропогенного воздействия. Наибольшему закислению подвергаются озера, находящиеся среди гранитных скал, песчаных отложений и болот. Водные объекты Карелии чувствительны к действию кислотных осадков. Как показывают расчеты, более уязвимыми являются низкощелочностные водные объекты, а водоемы с повышенной щелочностью и кислые гумусные воды обладают наибольшей устойчивостью к закислению.

ЛИТЕРАТУРА

- Глинка Н. Л. Общая химия. Л., 1985. С. 361.
 Изразль Ю. А. Кислотные дожди. Л., 1989. 269 с.
 Лозовик П. А., Потапова И. Ю. Поступление химических веществ с атмосферными осадками на территории Карелии // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 1. С. 111–118.
 Лозовик П. А. Устойчивость водных объектов к закислению в зависимости от их удельного водосбора на примере озер и рек бассейна р. Шуи (Онежской) // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 2.
 Межрегиональное атмосферное загрязнение территорий. Республика Карелия. СПб., 1998. 93 с.
 Моисеенко Т. И. Теоретические основы нормирования антропогенных нагрузок на водоемы субарктики. Апатиты, 1997. 261 с.
 Никаноров А. М. Гидрохимия. Л., 1989. С. 154–162.
 Хорват Л. Кислотный дождь. М., 1990. 81 с.

СЛОВАРЬ используемых терминов

Аэрозоли – гигроскопичные мельчайшие кристаллики галита, кальцита, гипса, доломита, частицы дыма, капли газовых растворов (SO_2 , HCl и др.), органические вещества, мельчайшие организмы и их остатки (споры, пыльца растений, микробы и др.). Размеры аэрозолей весьма разнообразны – от 10^{-13} до 10^{-5} см.

Буферная емкость воды показывает, как меняется pH воды с поступлением сильных кислот.

Кислотность – способность воды реагировать с гидроксильными ионами. В водных объектах определяется обычно наличием свободных минеральных (угольные) и органических (главным образом, гуминовые) кислот.

Щелочность – свойство воды, обусловленное наличием в ней анионов слабых кислот, главным образом угольной.

Цветность – показатель качества воды, характеризующий интенсивность окраски воды и обусловленный содержанием окрашенных органических соединений.

О САМООЧИЩЕНИИ ВОДОЕМОВ

Л. В. Дубровина

Институт Водных проблем Севера КарНЦ РАН

«Мне казалось, что озеро живое. Оно дышало, накатываясь тяжелой волной на желтый берег, оно искрилось тысячью жизней, скрытых в его темных водах». Кто не испытывал подобных чувств, поддаваясь силе, исходящей от огромной водной массы, заключенной в котловине земной коры.

Поистине, велика роль озер на Земле. Они обеспечивают нормальную жизнедеятельность человека, растений и животных. В них содержится значительная часть дефицитной пресной воды, объем которой составляет примерно 123 тыс. км³. Это вода, которую надо беречь. Однако сброс сточных вод и сток с сельскохозяйственных угодий и лесов, где применяют удобрения и ядохимикаты, могут изменить режим озера, ухудшить качество воды и подорвать его рыбные ресурсы. Порой удивительно, почему большинство поверхностных вод под влиянием человека не превратилось в сточные каналы, где нет жизни. Однако природа распорядилась так, что водоемы и реки способны сами себя очищать. При этом факторы самоочищения многообразны. Их можно условно разделить на 3 группы: физические, химические и биологические.

Среди физических факторов первостепенное значение имеет разбавление, растворение и перемешивание поступающих загрязнений. Хорошее перемешивание и снижение концентраций взвешенных частиц обеспечивается интенсивным течением рек. Способствует самоочищению водоемов оседание на дно нерастворимых осадков, а также отстаивание загрязненных вод. Важным фактором является ультрафиолетовое излучение Солнца, благодаря которому происходит обеззараживание воды, поскольку ультрафиолетовые лучи губительны для различных микробов, бактерий, вирусов.

Из химических факторов следует отметить окисление органических и неорганических веществ. В значительной степени способствует самоочищению процесс гидролиза. Кроме того, присутствующие в воде соли минерализации и жесткости могут образовывать прочные комплексные соединения с поступающими извне загрязняющими веществами.

Тем не менее ведущее значение в процессах самоочищения отводится водному населению. Каждый водоем – сложная живая система, где обитают разнообразные животные и растения. По размещению в озере и процессам приспособления выделяют организмы дна (бентос), водного зеркала (плейстон), водной тол-

щи (планктон), активно плавающие (нектон). Совокупная их деятельность и обеспечивает самоочищение водоемов.

Так, благодаря бактериальным и грибковым сообществам органическое вещество, поступающее в водоем извне, подвергается минерализации, биохимическому окислению и разложению. Водные животные продвигают огромную минерализационную работу в процессе дыхания, переводя органические соединения в минеральные. Питаясь, гидробионты изымают из воды, накапливая в своем теле, вредные вещества, тем самым способствуя их осаждению и нейтрализации. Транзит гидробионтами загрязнений из воды в грунт производит большой очистительный эффект. При глубоком захоронении в донных отложениях токсические вещества могут полностью инактивироваться. Хотя не редко грунты являются источником вторичного загрязнения водоемов.

Транзит минеральных и токсических органических веществ из воды в грунт в процессе жизнедеятельности гидробионтов происходит в результате работы фильтраторов. Огромная роль в процессах осветления воды принадлежит придонному населению (бентосные организмы). Так, моллюски-перловицы, гребешки, беззубки при помощи фильтрующих приспособлений ротового аппарата пропускают через себя массы воды, очищая ее от взвесей. При этом непереваренный материал в виде фекальных комочков изымается из воды и выбрасывается на дно. Но еще большее значение имеет образование животными псевдофекалий. Например, большую часть отфильтрованного материала, особенно непригодного в пищевом отношении, моллюски не заглатывают, а в склеенном виде выбрасывают через выводные сифоны. Перловицы и беззубки размером 5–6 см отфильтровывают при температуре 9–19° до 12 л воды в сутки. С повышением температуры до 30° моллюски могут профильтровать до 30 л в сутки. Важное значение в процессе очищения воды отводится также личинкам насекомых, обитающим в придонных слоях воды (веснянки, поденки, ручейники).

Значительная роль в биологической очистке отводится также обитателям толщи воды. Это фитопланктон, коловратки, низшие ракообразные. Численность зоопланктона в наших озерах достигает 2 сотен тысяч и более в 1 м³. В период массового развития коловратки перерабатывают огромное количество органического вещества, уничтожая разложившиеся останки умерших животных и растений, которые служат им пищей. Очень интенсивно проходит

фильтрационная работа, которую выполняют в пресных водах ветвистоусые и веслоногие рачки. У большинства из них грудные ножки снабжены многочисленными перистыми щетинками, образующими фильтрационный аппарат. Ножки совершают до 300–500 взмахов в минуту. При этом щетинки непрерывно отфильтровывают мелкую взвесь – бактерии, микроводоросли, частицы детрита.

Хорошими фильтраторами взвесей и детоксикантами вредных веществ являются также высшие водные растения.

Казалось бы, нечего нам беспокоиться за сохранность озер. Природные экологи сами позаботятся о своем доме. Однако высокая концентрация вредных веществ (особенно химикатов) может привести к их гибели. Несмотря на столь обширные резервы природы для сопротивления загрязнению, большая нагрузка на экосистемы не оставляет природе шансов самостоятельно справиться с этим бедствием. Чрезмерное загрязнение подрывает самовосстановительные способности водоемов. Особенно ранимы водоемы северо-западного региона, поскольку они менее устойчивы к внешнему воздействию из-за низкой самоочистительной способности. В чем же причина? Ответ следует искать в условиях формирования водоемов, климате и, как следствие, в особенностях химического состава и их биологических возможностях.

Известно, что вода озер и рек Севера по показателю жесткости, т. е. по содержанию в ней солей кальция и магния относится к мягким и очень мягким водам (среднее значение – 2 ммоль/л). По наличию растворимых солей

(общему содержанию в ней ионов) – к низкоминерализованным. Средний показатель минерализации составляет всего 25 мг/л. Самое большее, до 100 мг/л, встречается в некоторых озерах Заонежья. Следовательно, низкое содержание солей и карбонатных ионов, т. е. хороших комплексообразователей, уменьшают возможность водоемов к осаждению многих загрязнителей.

Биопродуктивность водоемов Севера также невысокая. Следовательно, связанные с ней процессы разложения органического вещества при участии микроорганизмов (деструкция органического вещества) весьма ограничены. При этом низкие температуры в течение всего года замедляют все процессы, происходящие в водоемах. Так, летом максимальная температура наблюдается в начале августа. Средняя температура в поверхностных горизонтах 15–20 °С. На глубине 20 м – 7–10 °С. В Онежском озере в начале августа температура поверхностного слоя примерно 16 °С, на глубине 20 м – 8 °С и на 80 м – 4 °С.

Совершенно очевидно, что большие нагрузки на водоемы Севера могут привести к их гибели. Мы можем безвозвратно утратить дар, полученный нами от Природы, если не будем относиться к нему бережно.

ЛИТЕРАТУРА

Константинов А. С. Общая гидробиология. М., 1967. 267 с.

Гусаков Б. Л., Петрова Н. А. Перед лицом Великих озер. Л., 1987. 128 с.

Жизнь пресных вод СССР. Т. 3. М.; Л., 1950.

Богословский Б. Б. Озероведение. М., 1960.

СЛОВАРЬ используемых терминов

Биопродуктивность – биологическая продуктивность водоемов. Биомасса, производимая водным сообществом на единице площади или в целом за единицу времени.

Гидробионт – организм, обитающий в водной среде.

Фильтраторы – водные организмы, улавливающие пищу путем пропускания массы воды через специальные устройства.

ТЕРМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ОЗЕРАХ КАРЕЛИИ

Т. В. Ефремова

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Температурный режим озера – один из ведущих экологических факторов, определяющий разнообразие видов, степень развития водной растительности, зоопланктона, бентоса, рыб. Как правило, чем выше температура воды, тем больше биологическая активность и скорость роста гидробионтов. Все водные организмы предпочитают температуру, оптимальную для их жизнедеятельности. Например, для таких рыб, как лосось, сиг необходима холодная вода, поэтому их не встретишь в мелководном озере, воды которого летом значительно прогреваются. Существенные изменения температуры воды могут приводить к уменьшению или исчезновению, как числа видов, так и их численности. Температура воды оказывает большое влияние на гидрохимический режим в озерах, от нее зависит растворимость минералов и газов. Например, наиболее важный для развития и существования организмов газ – кислород – в теплой воде растворяется меньше, чем в холодной.

Климатические условия (зона избыточного увлажнения), геологическое строение и рельеф обусловили образование на территории Карелии большого числа озер различного происхождения (тектонические, ледниковые, болотные). Озера имеют самые различные формы и размеры: от крупнейших в Европе Ладожского и Онежского до многочисленных мелких водоемов, называемых здесь ламбами или ламбушками. Их термический режим – один из важнейших энергетических факторов, контролирующий протекающие в озере гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические процессы. С термическим режимом связано вертикальное расслаивание вод по плотности, или перемешивание и перераспределение различных веществ в водной толще. В свою очередь он зависит от сочетания и взаимодействия климата с геометрическими размерами и строением котловин водных объектов.

Термический режим пресных водоемов умеренной зоны непосредственно связан с уникальными и аномальными свойствами воды. Одним из важных свойств воды является изменение структуры и соответственно плотности ее в зависимости от изменения температуры. Так, при переходе из твердого в жидкое состояние плотность воды не уменьшается, как почти у всех других веществ, а возрастает. Пресная природная вода имеет наиболее плотную упаковку молекул и соответственно максимальную плотность при температуре 4 °С, т. е. при нагревании от 0 до

4 °С плотность увеличивается, а при дальнейшем повышении температуры уменьшается (рис. 1).

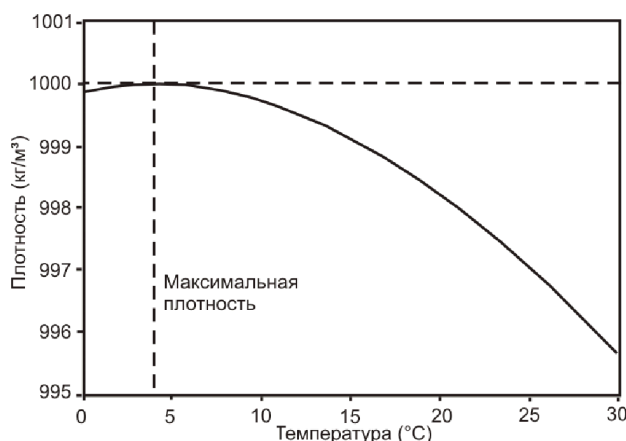


Рис. 1. ЗАВИСИМОСТЬ ПЛОТНОСТИ ВОДЫ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Если бы при понижении температуры и при переходе из жидкого состояния в твердое плотность воды изменялась так же, как это происходит у подавляющего большинства веществ, то при приближении зимы поверхностные слои воды постепенно охлаждались бы и под действием силы тяжести опускались на дно водоемов, освобождая место более теплым слоям. Так продолжалось бы до тех пор, пока все их водные массы не приобрели бы температуру 0 °С. Далее вода начинала бы замерзать, образующийся лед погружался на дно, и водоемы промерзали бы на всю их глубину. При этом многие формы жизни в озерах были бы невозможны. Но так как наибольшей плотности вода достигает при 4 °С, то перемещение ее слоев, вызываемое охлаждением, заканчивается при достижении этой температуры. При дальнейшем понижении температуры охлажденный слой, обладающий меньшей плотностью, стремится остаться на поверхности до начала замерзания и тем самым препятствует выхолаживанию расположенных ниже слоев воды. При образовании льда плотность его уменьшается почти на 8% по сравнению с водой. Это приводит к тому, что в зимний период на водоемах лед не тонет и даже способен поддерживать на себе достаточно мощный слой снежного покрова, выполняющего основные теплозащитные функции. В результате ледовый покров, как под шубой, изолирует озера от атмосферного влияния и не дает им промерзнуть до дна.

Большое значение в жизни водоемов имеет и тот факт, что вода обладает аномально высокой теплоемкостью, т. е. количеством тепла, поглощаемым при повышении ее температуры на один градус (4,18 Дж/г К). Большая теплоемкость воды оказывает влияние на амплитуду колебаний температуры воды водоемов – ее суточные и синоптические колебания менее резки, чем колебания температуры воздуха.

Вода имеет очень малую теплопроводность. Если бы вода была совершенно неподвижна, то прогревался бы только самый верхний слой, а остальные водные массы всегда были бы холодными. Перенос тепла в глубины вод связан с двумя видами перемешивания: конвективным – вертикальным обменом, вызванным разностью плотностей, и турбулентным, возникающим в результате действия ветра. Поступательные (течения) и колебательные (волны) движения воды также способствуют перераспределению тепла в водоемах.

Основной источник поступления тепла в озеро – солнечная радиация. Интенсивность приходящей на поверхность озер солнечной радиации зависит от широты места и погодных условий, изменяясь в течение года и времени суток. В период открытой воды часть теплового потока отражается от поверхности озера, но основная доля энергии Солнца проникает в поверхностные слои озера и поглощается в основном в верхнем слое воды. В озерах с прозрачной и слабоокрашенной водой солнечная радиация проникает на большую глубину по сравнению с водой, мутной и имеющей темную окраску.

Температурный режим озер умеренной зоны характеризуется прежде всего годовым циклом, который разделяется на гидрологические сезоны: весна, лето, осень и зима, даты наступления которых, как правило, не совпадают с метеорологическими сроками. Наступление и продолжительность гидрологических сезонов озер определяются не только временем года и широтным положением водных объектов, но и в значительной степени их морфометрическими характеристиками (в первую очередь площадью и глубиной). На озерах одного и того же района с разными геометрическими размерами озерной котловины сроки гидрологических сезонов не только не совпадают, но и процессы нагревания и охлаждения, наблюдающиеся в них, существенно различаются. Это было отмечено еще в первых лимнологических работах в конце XIX – начале XX вв. Естественно, что чем больше глубина и площадь водоема, тем большее количество тепла требуется на нагревание его водных масс в весенне-летний период и тем больше тепла он отдает осенью. Неглубокие водоемы в теплое время года прогреваются до дна, и донные отложения активно участвуют в формировании их термического режима.

В мелководных озерах минимальный запас тепла наблюдается в начале зимы, перед самым установлением ледостава, а в глубоководных озерах – в конце февраля – начале марта. Это связано с тем, что подледный прогрев воды в мелководных озерах происходит за счет теплоотдачи дна, продолжающейся обычно до конца зимы. Чем меньше глубина озера и чем большую площадь в нем занимает мелководье, тем сильнее в летнее время прогревается грунт дна, а теплоотдача от него зимой идет интенсивнее и подледный прогрев воды больше. В глубоких озерах тепловой поток от дна столь незначителен, что не оказывает существенного влияния на зимний термический режим. В конце февраля – начале марта в карельских озерах температура воды близка к 0 °С подо льдом, а у дна – в глубоководных озерах к 2 °С, а в мелководных к – 4 °С (рис. 2). Такое распределение температуры воды называется обратной термической стратификацией. Напомним, что наибольшей плотности пресная вода достигает при температуре 4 °С, поэтому температура при обратной стратификации у дна имеет значения выше, чем у поверхности.

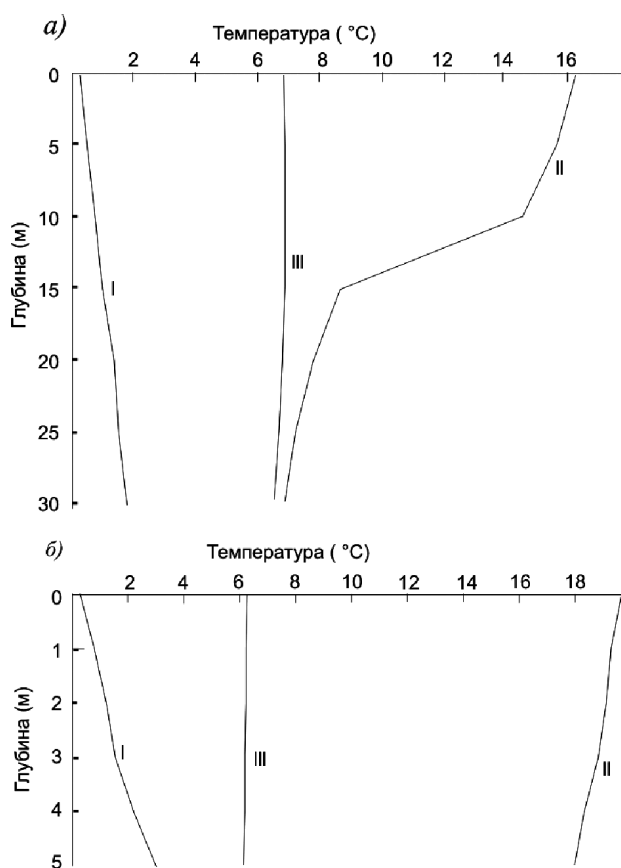


Рис. 2. ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ С ГЛУБИНОЙ

а) – в Онежском озере; б) – в озере Пряжинском. I – обратная температурная стратификация (зима); II – прямая температурная стратификация (лето); III – гомотермия (осень)

Стратификация (от лат. *stratus* – слоистость) предполагает устойчивость. Следовательно, чтобы преодолеть ее, т. е. двигаться по вертикали вниз, необходимо затратить дополнительную энергию на преодоление сил Архимеда.

Период весеннего нагревания водоемов наступает еще подо льдом с началом таяния снежного покрова. В начале апреля с увеличением поступающего тепла и продолжительности светового дня верхние слои воды прогреваются, что приводит к неустойчивому распределению плотности по вертикали и, как следствие, к конвективному перемешиванию. Поясним это на примере. Если вода какого-либо озера имеет температуру 2 °С и в поверхностном слое происходит нагрев до 3 °С, то вода с температурой 3 °С, как более тяжелая, погружается на глубину, а на ее место поднимается более холодная и менее плотная вода. Однако в природе таких перепадов температуры не наблюдается, а в перемешанном слое неоднородности температуры < 0,1 °С. Конвективное перемешивание продолжается до нагревания всей толщи воды до температуры наибольшей плотности (4 °С).

Период весеннего нагревания в мелководных озерах сравнительно короткий. Средняя дата очищения озер ото льда в южной части Карелии приходится на середину мая, а северной – на третью декаду мая. К моменту вскрытия водоемов конвективный слой в мелководных озерах достигает дна, средняя температура водной массы составляет около 4 °С. Выравнивание температуры воды после перехода через 4 °С определяется ветровым перемешиванием, легко достигающим весной значительных глубин, в связи с малой разностью температуры и плотности воды, а, следовательно, и малой устойчивостью вод по вертикали. В первой декаде июня температура поверхности воды переходит через 10 °С в озерах южной Карелии, на севере Карелии эта дата запаздывает на две недели. На глубине 10 м в это время вода прогревается до 6–9 °С.

В крупных глубоководных озерах (Ладжское, Онежское, Сегозеро) в этот период наблюдаются более сложные процессы. После таяния льда температура воды не превышает 2 °С, т. е. прогрев идет при интенсивном конвективном перемешивании. В мае мелководья больших глубоководных озергреваются значительно быстрее, чем центр озера, в связи с перераспределением тепла на меньшую глубину при одинаковом его приходе на поверхность воды. Переход температуры воды через 4 °С приводит здесь к смене обратной стратификации на прямую стратификацию. На поверхности при нагревании вода становится все легче, и, следовательно, образуется все более устойчивая стратификация, препятствующая вертикальному перемешиванию. В это время в глубоководной части озера температура воды

еще ниже 4 °С и свободное конвективное перемешивание охватывает всю толщу воды до дна. В зоне, где температура воды близка к 4 °С и происходит смена прямой стратификации на обратную, формируется плотностной фронт, в котором смешиваются теплые и холодные воды до температуры максимальной плотности и опускаются на дно. Это уникальное явление называется термическим баром. Фронтальная зона термобара возникает по периметру всего озера. Таким образом, прибрежная часть озера – теплая и стратифицированная окружает холодную сравнительно однородную водную массу (рис. 3).

Фронт термического бара, окаймляющий чашу озера сначала вдоль берегов и неподалеку от них, по мере прогревания водоема смещается в сторону открытой акватории. Сходимость и опускание вод с максимальной плотностью во фронтальной зоне способствуют переносу растворенного кислорода от поверхности в придонные горизонты и переносу минеральных веществ, необходимых для биологических процессов, из придонных слоев в зону фотосинтеза. Продолжительность существования весенней фронтальной зоны связана с геометрическими размерами и формой строения озерной котловины. Так, например, в Ладжском озере она существует около двух месяцев с середины мая до середины июля, а в Онежском озере – с третьей декады мая до конца июня. Ее продвижение от берегов в глубоководную часть озера определяет сроки возникновения прямой стратификации в различных районах озера.

Длительная изоляция прибрежных вод от глубинных может приводить и к неблагоприятным последствиям, если в прибрежные районы поступают сточные загрязненные или речные воды. Они не смешиваются с основной массой воды, не разбавляются, а распространяются вдоль береговой линии озера и могут попадать в водозаборы близлежащих населенных пунктов. Например, в конце мая термобар изолирует воды Петрозаводской губы от основной акватории озера. В этот период создаются неблагоприятные условия для питьевого водоснабжения города, так как губа оказывается заполненной трансформированными водами р. Шуи и сточными водами города.

Явление термического бара было обнаружено «отцом озероведения» швейцарцем Франсуа Форелем еще в конце XIX в. на Женевском озере. Странной оказалась судьба этого замечательного открытия: оно было практически забыто. И только тщательные исследования, проведенные на Ладжге в пятидесятых – шестидесятых годах прошлого века, позволили всесторонне оценить значение термобара для различных сторон жизни водоема. По сути, это было новое открытие термобара, сделанное ученым из Института озероведения Алексеем Ивановичем Тихомировым.

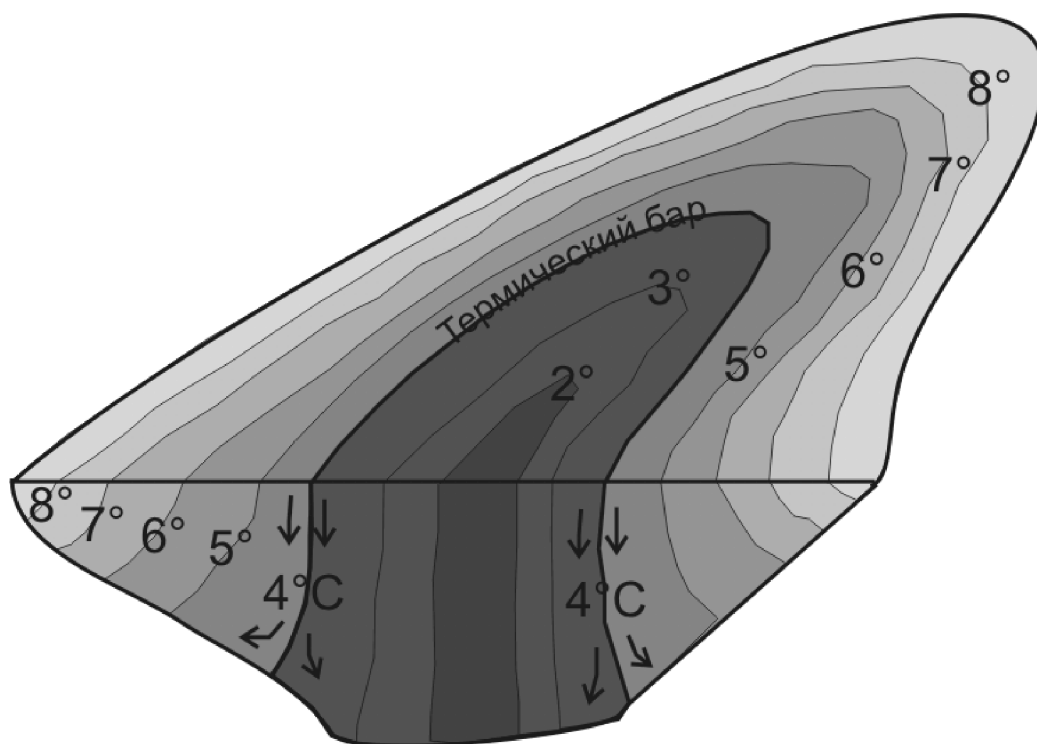


Рис. 3. СХЕМА ПОПЕРЕЧНОГО РАЗРЕЗА ОЗЕРА ВО ВРЕМЯ ПРОХОЖДЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО БАРА

Термический бар можно не только обнаружить путем измерения температуры воды – его можно видеть! Поскольку в термическом баре плотность воды наибольшая, то поверхность воды находится здесь чуть ниже. А это значит, что в поверхностном слое вода будет двигаться в сторону термобара, затем опускаться вниз вдоль него и оттекать в придонном слое в противоположные стороны. Благодаря этому мелкие плавающие предметы, масло, пена образуют полосу на воде, указывая на положение фронта термического бара. Особенно четко эта полоса видна с самолета.

После прохождения фронта термического бара в крупных глубоководных озерах начинается этап летнего нагревания. По мере дальнейшего прогрева поверхности озера (особенно в теплые штилевые дни) разность температуры поверхности и глубинных слоев возрастает. Увеличиваются вертикальные температурные градиенты и градиенты плотности воды. В водной толще создается такая устойчивость, которую ветровое перемешивание может преодолеть только до некоторой глубины, обусловленной степенью прогрева, морфометрическими особенностями и силой ветра. Поэтому между верхней нагреваемой и нижней холодной толщей образуется резкий температурный раздел, где на очень коротком расстоянии по вертикали температура изменяется подчас на несколько градусов на 1 м. В озере устанавливается прямая температурная стратификация, а озеро делится на три вертикальные термические зоны (рис. 4).

Эпилимнион – самый верхний слой воды, обладающий теплой и относительно однородной температурой по всей толщине. Металимнион – слой температурного скачка, в котором градиент температуры может достигать 5–10 градусов на 1 м. Металимнион – это своеобразное подводное покрывало, разделяющее холодные глубинные воды и теплые поверхностные. Положение слоя температурного скачка связано со степенью прогрева поверхностных слоев воды, силой ветра и морфометрическими особенностями котловины. Естественно, чем сильнее ветер, тем глубже при прочих равных условиях расположен слой скачка. Чем больше площадь озера, тем больше разгон ветра, и, следовательно, глубже слой скачка. А чем больше градиенты температуры и соответственно плотности воды, тем больше создается сопротивление при перемешивании. Гиполимнион – глубинный холодный слой. Между метеорологическими условиями весны и нагревом глубинных слоев озера существует явная зависимость. Если весна теплая и дружная, а ветры слабые, то быстро устанавливается прямая стратификация, слой температурного скачка располагается близко к поверхности, глубинные слои воды не успевают прогреться, и в гиполимнионе летом сохраняются низкие температуры. В случае холодной и затяжной весны в глубинные слои успевает проникнуть большее количество тепла, и воды гиполимниона летом имеют более высокие температуры.

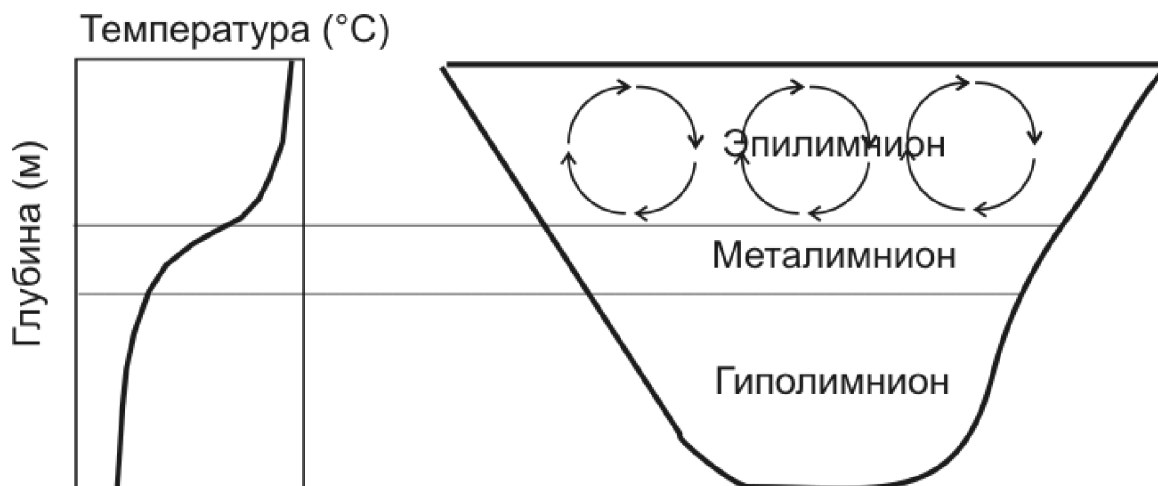


Рис. 4. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ТЕРМИЧЕСКИЕ СЛОИ В ОЗЕРЕ

В летний период при относительной стабилизации термических зон теплообмен с атмосферой осуществляется практически за счет эпилимниона. Поэтому ход средней температуры эпилимниона довольно близок к ходу среднесуточных температур воздуха, а средняя температура гиполимниона почти постоянна в течение всего лета (4–6 °C). Таким образом, гиполимнион термически изолирован слоем температурного скачка от воздействия атмосферы. Эпилимнион, металимнион, гиполимнион обладают не только специфическими термическими особенностями, но и являются зонами, в которых различен химический, газовый и биологический режим, так как при значительных градиентах плотности воды обмен между ними затруднен. Эпилимнион получает из воздуха кислород, в нем благоприятен световой режим и развита органическая жизнь. Металимниону принадлежит большая роль в кругообороте вещества и энергии в озере. В нем происходит концентрация осаждающихся органических веществ из верхнего деятельного слоя, поэтому здесь скапливаются зоопланктонные организмы. Металимнион является (благодаря большим плотностным градиентам) преградой для перемешивания и проникновения кислорода в гиполимнион. Поэтому в гиполимнионе озера, донные отложения которых богаты органическими веществами, летом может ощущаться дефицит кислорода, расходуемого на разложение органического вещества и дыхание водных организмов.

В озерах, обладающих большой площадью при малой глубине, перемешивание сильнее, чем в глубоких озерах с относительно малой площадью. Поэтому в мелких озерах слой температурного скачка лежит ближе ко дну, а во многих из них его не бывает в течение всего лета. Анализ данных наблюдений за температурой воды озер Северо-Запада России в

течение нескольких десятилетий в период максимального прогрева (конец июля – начало августа), позволил прийти к выводу, что по условиям стратификации озера удобнее всего разделить на три класса. Эпитермические, т. е. озера, имеющие фактически только эпилимнион. Это мелкие озера, летом они однородны и из-за неустойчивой термической стратификации периодически перемешиваются до дна под воздействием ветров. В Карелии это очень многочисленный класс озер, в качестве примера можно назвать Лососинное, Машозеро, Лендерское и другие. Метатермические – озера со средними глубинами, обычно имеют два слоя: верхний почти однородный и нижний стратифицированный. К ним относятся такие водоемы, как Выгозеро, Сямозеро, Нижнее Куйто, Суоярви и другие. Гипотермические – глубокие озера, с наличием по вертикали всех трех ярко выраженных слоев: эпи-, мета- и гиполимниона. Это Ладожское, Онежское, Сегозеро, Топозеро, Мунозеро, Кончозеро и другие.

В один класс могут попадать озера сравнительно большие и малые по площади. Таким образом, для возникновения конкретного типа термической стратификации должно существовать определенное сочетание глубины и площади озера. Например, самые маленькие озера с площадью до 1 км² относятся к эпитермическим, если их максимальная глубина меньше 6 м; водоемы, при максимальной глубине больше 18 м являются гипотермическими, от 6 до 18 м – метатермическими. Для озер с площадью около 25 км² глубины границ между разными типами озер увеличиваются до 11 и 30 м соответственно.

В годовом ходе температуры воды в озерах Карелии максимум температуры наблюдается в конце июля – начале августа. Температура поверхности воды в это время состав-

ляет 15–19 °С. В эпите rmических озерах раз-
ница между поверхностными и придонными
температурами не превышает 2–3 °С, а ино-
гда совсем не наблюдается (рис. 2). В мета-
термических озерах в придонных горизонтах
температура воды составляет 8–10 °С. В ги-
потермических озерах в металимнионе
температура воды может изменяться от 15
до 7 °С, а в гиполимнионе – от 7 до 4 °С
(рис. 2).

В крупных озерах к значительным измене-
ниям температуры воды на большой площади
могут приводить процессы, называемые кра-
сивым словом апвеллинг. Апвеллинг непо-
средственно связан с метеорологическими
условиями – он возникает при сильном и про-
должительном ветре, направленном прибли-
зительно параллельно берегу, находящемуся
слева от воздушного потока или под неболь-
шим углом к нему. При этом происходит сгон
поверхностных вод и подъем на их место бо-
лее холодных глубинных вод. В результате на
поверхность часто выходит слой воды с мак-
симальными градиентами и образует фронт
протяженностью несколько километров. При
явлении прибрежного подъема разница тем-
пературы поверхности воды может достигать
более десяти градусов. В Онежском озере,
например, летом температура воды при ап-
веллинге понижалась с 19–17 до 6 °С в течение
10–15 часов, после чего холодная вода оста-
валась на поверхности 2–3 суток. Размеры
озер ограничивают зону подъема вод шири-
ной до километров и длиной до десятков кило-
метров в больших озерах и до сотен метров –
в малых. В Онежском озере наблюдались ап-
веллинги, занимающие площадь 30 км вдоль
берега и 10 км в сторону озера. Вместе с глу-
бинными водами на поверхность поднимаются
соединения азота и фосфора, это приводит
к бурному развитию фитопланктона в зонах
апвеллинга. Фитопланктоном питаются рачки,
служащие кормом для рыбы. Поэтому здесь
обычно бывает больше рыбы, чем на других
участках.

Во второй декаде августа начинается пе-
риод охлаждения озер. Переход температуры
поверхности воды через 10 °С осенью на се-
вере Карелии наблюдается в среднем 10 сен-
тября, а на юге – в последней декаде сентяб-
ря. Охлаждение поверхностного слоя вызыва-
ет конвекцию, уменьшаются вертикальные
градиенты температур. При меньшей разности
плотностей слоев ветер может переме-
шивать большую толщу воды, слой темпера-
турного скачка заглубляется. В гипотермиче-
ских озерах охлаждение эпилимниона и по-
гружение слоя скачка продолжается до тех
пор, пока разность температур и плотностей

воды эпилимниона и гиполимниона не умень-
шится настолько, что ветровое перемешива-
ние достигнет максимальных глубин озера и
установится осенняя гомотермия, т. е. одина-
ковая температура воды от поверхности до
дна (рис. 2). Чем выше температура гиполим-
ниона и чем меньше глубина, тем при прочих
равных условиях раньше и при более высоких
температурах наступит гомотермия. Состоя-
ние осенней гомотермии продолжается, на-
рушаясь (особенно в небольших озерах) пря-
мой стратификацией в солнечные штилевые
дни, до тех пор, пока температура воды в озе-
ре не достигнет величин, близких к 4 °С. В
осенний период, так же как и весной, глубин-
ные слои вод обогащаются кислородом, но в
большей степени, так как низкая температура
воды, способствующая большому растворе-
нию кислорода, держится дольше.

При дальнейшем охлаждении верхних сло-
ев воды до температуры ниже 4 °С плотность
их становится меньше плотности глубинных
вод. Возникает разность плотностей воды,
затрудняющая перемешивание. В озере уста-
навливается обратная температурная страти-
фикация. Постепенно при продолжающемся
понижении температуры воздуха верхний
слой воды охлаждается до 0 °С и начинается
процесс замерзания озер. Ледовый режим
озер, кроме метеорологических факторов,
зависит от площади зеркала озера, глубины,
объема водных масс. С наступлением зимы
сначала замерзают малые озера и заливы
больших озер, затем средние озера и при-
брежные части больших озер; позже других
покрываются льдом открытые центральные
части больших водоемов. Замерзание озер
Карелии по средним многолетним данным
происходит 5–17 ноября, за исключением
крупных озер. Так, в Онежском озере в зали-
вах и губах ледостав начинает устанавливаться
в ноябре, а средняя дата наступления пол-
ного ледостава – 18 января. Ладожское озеро
полностью одевается в ледяную броню не
каждую зиму. В среднем один раз в 4–5 лет
глубоководные его области, а иногда и цент-
ральная часть остаются открытыми. Озеро
замерзает с трудом: на замерзание ему нуж-
но около 2,5 месяцев.

ЛИТЕРАТУРА

- Богословский Б. Б. Озероведение. М., 1960. 335 с.
Бояринов П. М., Петров М. П. Процессы форми-
рования термического режима глубоких пресновод-
ных водоемов. Л., 1991. 175 с.
Тихомиров А. И. Термика крупных озер. Л., 1982. 232 с.
Хатчинсон Дж. Лимнология. М., 1969. 592 с.

СЛОВАРЬ используемых терминов

Апвеллинг – подъем глубинных холодных вод к поверхности в результате сильного и продолжительного ветра.

Гиполимнион – глубинный, холодный, относительно однородный слой воды в водоеме, залегающий ниже слоя температурного скачка – металимниона. Гиполимнион характерен для глубоких озер. В пределах гиполимниона температура воды мало меняется в течение года, медленно возрастая от весны к осени, и обычно не превышает 4–6 °С.

Гомотермия – одинаковая температура и соответственно плотность по всей толще воды водоема, возникает при интенсивном перемешивании. Гомотермия устанавливается осенью после прямой термической стратификации (осенняя гомотермия), весной после разрушения обратной термической стратификации (весенняя гомотермия) и периодически в течение лета в мелководных открытых действию ветра водоемах.

Конвективное перемешивание вод – вертикальные движения воды под действием силы тяжести, вызванные изменением ее плотности в результате изменения температуры или солености. Конвекция ведет к перемешиванию воды и выравниванию до однородного состояния по вертикали ее физических и химических характеристик, обогащению кислородом нижележащих слоев.

Металимнион – слой в водной толще водоема, в пределах которого температура воды летом резко падает, а плотность воды возрастает. Расположен между гиполимнионом и эпилимнионом.

Обратная термическая стратификация – увеличение температуры воды от поверхности ко дну водоема (в пределах от 0 до 4 °С). Наблюдается зимой в водоемах умеренных широт.

Прямая термическая стратификация – понижение температуры воды от поверхности ко дну. Для водоемов умеренных широт типична летом. В глубоких озерах наблюдается расслоение их водной толщи на три слоя: эпилимнион, металимнион, гиполимнион.

Термический бар – плотностной фронт с температурой максимальной плотности (4 °С) от поверхности до дна. Фронтальная зона с резкими градиентами температуры, отделяющая прибрежные стратифицированные воды от глубоководных озерных вод, в которых развито интенсивное конвективное перемешивание.

Эпилимнион – верхний перемешанный слой воды в водоеме. В глубоких водоемах располагается выше слоя температурного скачка – металимниона, в мелких – может занимать всю толщу воды.

ЗООПЛАНКТОН ВОДОЕМОВ КАРЕЛИИ

Т. П. Куликова

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Республика Карелия известна не только в нашей стране как край многочисленных озер (61,1 тыс. с площадью более 1 га) и рек (26,7 тыс.), образующих обширные озерно-речные системы (Кемь, Выг, Ковда, Водла, Шуя, Суна и др.). Бесконечно разнообразны водоемы нашего края – от крупнейших в Европе Ладожского и Онежского до совсем небольших озерков, лесных ламбушек и ручьев, питьевых колодцев и ключей, маленьких пересыхающих луж. Многообразен и мир населяющих водоемы как растительных (фитопланктон,

макрофиты), так и животных (зоопланктон, зообентос) организмов.

Водная среда – это царство организмов зоопланктона. Они населяют всевозможные водоемы, живут в толще воды и у дна, опускаясь на предельные глубины, проникают в подземные воды и в горячие источники. Есть прикрепляющиеся виды, есть и паразиты, живущие на рыбах или других водных животных. Численность зоопланктона в наших водоемах колеблется от 1–2 до сотен тысяч, иногда миллионов организмов в 1 м³, биомасса их

изменяется от менее 0,1 в больших северных до 5–8 г в 1 м³ в малых озерах южной и юго-восточной Карелии.

Большинство организмов зоопланктона – микроскопические, длина их тела обычно меньше 1 мм и редко до 5 мм, а в исключительных случаях – до 10 мм. В зависимости от размеров пресноводный зоопланктон принято делить на:

⇒ мезопланктон – наиболее крупные организмы, хорошо видимые невооруженным глазом, их размеры достигают нескольких миллиметров;

⇒ микропланктон – организмы микроскопические, их размеры от 50 до 1000 мк;

⇒ нанопланктон – организмы, размеры которых меньше 50 мк;

⇒ ультрапланктон – крайне мелкие организмы, менее 20 мк.

Видовое разнообразие зоопланктона карельских водоемов весьма значительно. Многолетние исследования ученых Карельского научного центра Российской академии наук, Карельского отделения ГосНИОРХ (СевНИОРХ), Петрозаводского университета и Карельского педуниверситета позволили выявить свыше 800 видов и форм. В его состав входят простейшие (около 140), коловратки (более 440) и низшие ракообразные (более 200), которые представлены ветвистоусыми (*Cladocera*), веслоногими (*Copepoda*), ракушковыми (*Ostracoda*) и листоногими (*Phyllopoda*) рачками. Следует отметить, что и на сегодня не все группы зоопланктона водоемов республики (особенно две последние) изучены равномерно и достаточно. Не исследованы или не имеют полной картины жизни еще множество водоемов Карелии.

Инфузории (*Infusoria*) относятся к типу простейших (*Protozoa*) и представляют собой одноклеточные организмы, которые снабжены для движения сложно и разнообразно дифференцированным ресничным аппаратом. Покров ресничек может быть на всем теле или же редуцирован до нескольких пучков коротких, слитых вместе ресничек. Наиболее детально они изучены лишь в Онежском озере. Здесь насчитывается 138 таксонов, в том числе и всем, кажется, известная инфузория тфелька (*Paramecium caudatum*). Наиболее обычные размеры простейших лежат в пределах 50–150 мк, но есть и более крупные формы, например бурсария (*Bursaria*), которая достигает 2 мм длины и видна невооруженным взглядом. Форма тела некоторых инфузорий настолько характерна, что иногда можно определить до рода только по этому признаку. Среди них есть шаровидные, овальные, в виде мешка, воронки или колокольчиков на ножке; иногда тело заключено в домик, построенный из песчинок, или покрыто панцирем. Имеются колониальные формы, где особи (до 50 и больше) соединены разветвляющимся стебельком. Наряду со

свободноплавающими формами довольно большую по числу видов группу инфузорий составляют сидячие, прикрепленные к субстрату, одиночные – сувойки или иначе вортицеллы (*Vorticella*) или колониальные – кархезиум (*Carchesium*), эпистилис (*Epistylis*), напоминающие цветок в виде колокольчика, сидящий на стебельке, который прикрепляется к субстрату – водоросли или рачкам (рис. 1).

Численность отдельных видов простейших в Онежском озере может колебаться в течение сезона открытой воды от 0,1 до 120 тыс. экз./м³, а суммарное их количество в различных районах составляет от 60 тыс. экз./м³ в центре озера до 1,8 млн экз./м³ в Кондопожской губе.

Коловратки (*Rotatoria*) – очень своеобразная группа животных. Их стали изучать еще со времен изобретения микроскопа, т. е. с конца XVIII в. Естествоиспытатели XVIII и начала XIX вв. объединяли их с простейшими, и только в 1817 г. Кювье впервые выделил их в самостоятельную группу животных. По своему систематическому положению они относятся к низшим червям, к типу первичнополостных, немателминтов (*Nemathelminthes*), для которых характерно отсутствие дыхательной и кровеносной систем.

Эти крошечные существа, самые мелкие из многоклеточных животных, принадлежат к микропланктону. Среди них есть и «большие», хорошо заметные простым глазом виды, достигающие 2 мм, такие, как аспланхна (*Asplanchna*). Некоторые из них образуют колонии, которые часто состоят из нескольких сотен экземпляров. Одна колония достигает в диаметре 5 мм. Есть и самые маленькие, имеющие длину всего 40–50 мк. Это крайние величины. Подавляющее же большинство видов коловраток размером от 80 до 400 мк. Большинство коловраток бесцветны, но у многих видов отдельные части тела и полостная жидкость бывают окрашены. Так, *Gastropus stylifer* изумительно ярко окрашен в фиолетовые, синие, оранжевые цвета.

Форма тела коловраток очень разнообразна (рис. 2). Среди плавающих встречаются виды, имеющие форму мешка (*Asplanchna*), или круглой пластинки (*Testudinella*), или волчка (*Synchaeta*). Часто встречаются коловратки, словно «закованные» в панцирь причудливой формы, с колючками или шипами, длина которых может быть очень изменчива (*Trichotria*, *Kellicottia*). У многих видов вокруг тела образуются футляры, чехлики, домики, которые служат им как защитные образования, совершенно прозрачные или хорошо заметные (*Trichocerca cylindrica*). Есть такие виды, которые имеют придатки, широкие (*Hexarthra*) или узкие зазубренные (*Polyarthra*, *Filinia*), позволяющие им делать прыжки. Некоторые коловратки существуют как колониальные формы (*Conochilus*) (рис. 2: 8).

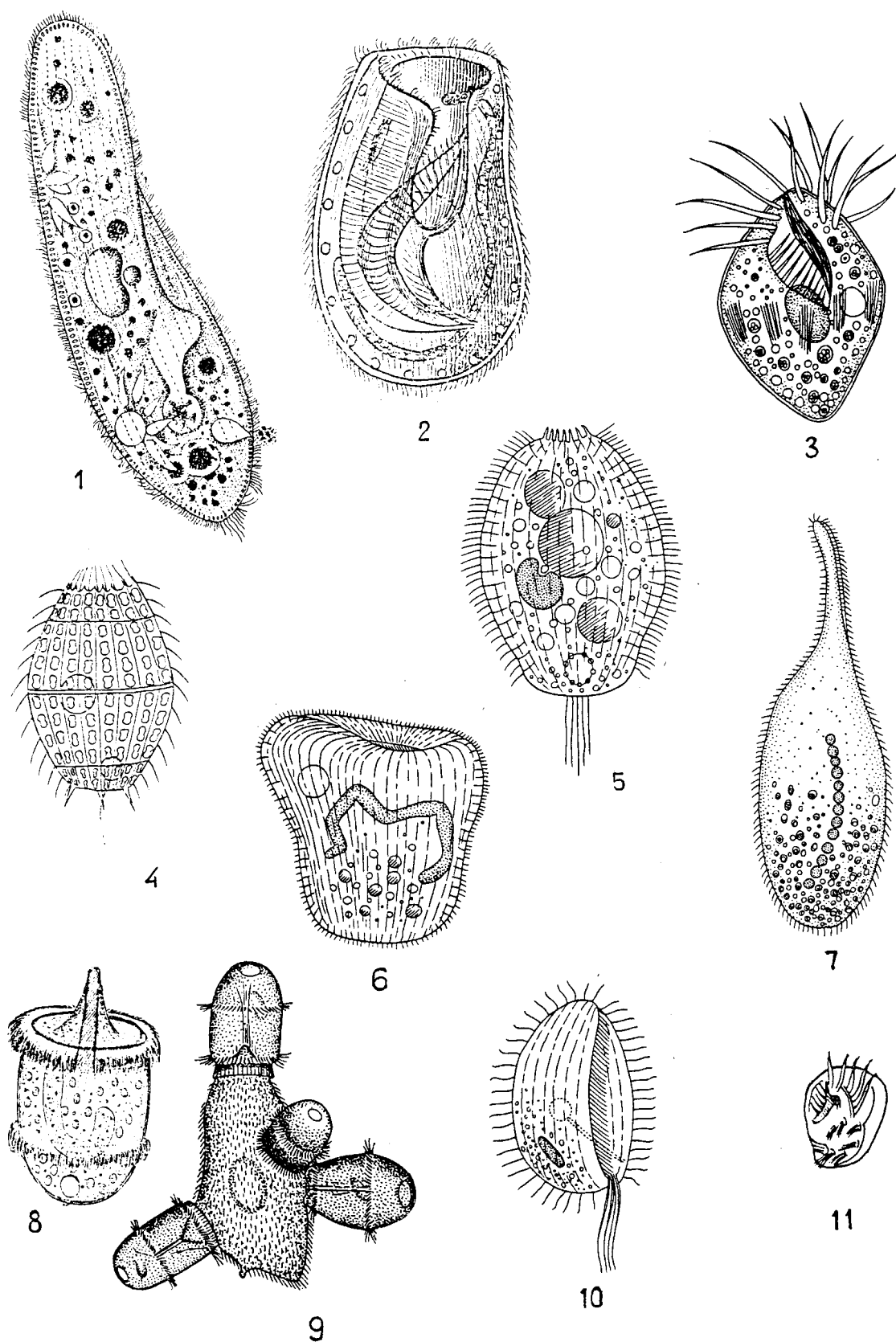


Рис. 1. ИНФУЗОРИИ (INFUSORIA):

1 – *Paramecium caudatum*, 2 – *Bursaria truncatella*, 3 – *Strombidium viride*, 4 – *Coleps* sp., 5 – *Urotricha pelagica*, 6 – *Marituja pelagica*, 7 – *Amphileptus trachelioides*, 8 – *Didinium nasutum*, 9 – инфузории дидинии, пожирающие инфузорию тифельку, 10 – *Lembadion lucens*, 11 – *Aspidisca coactata*

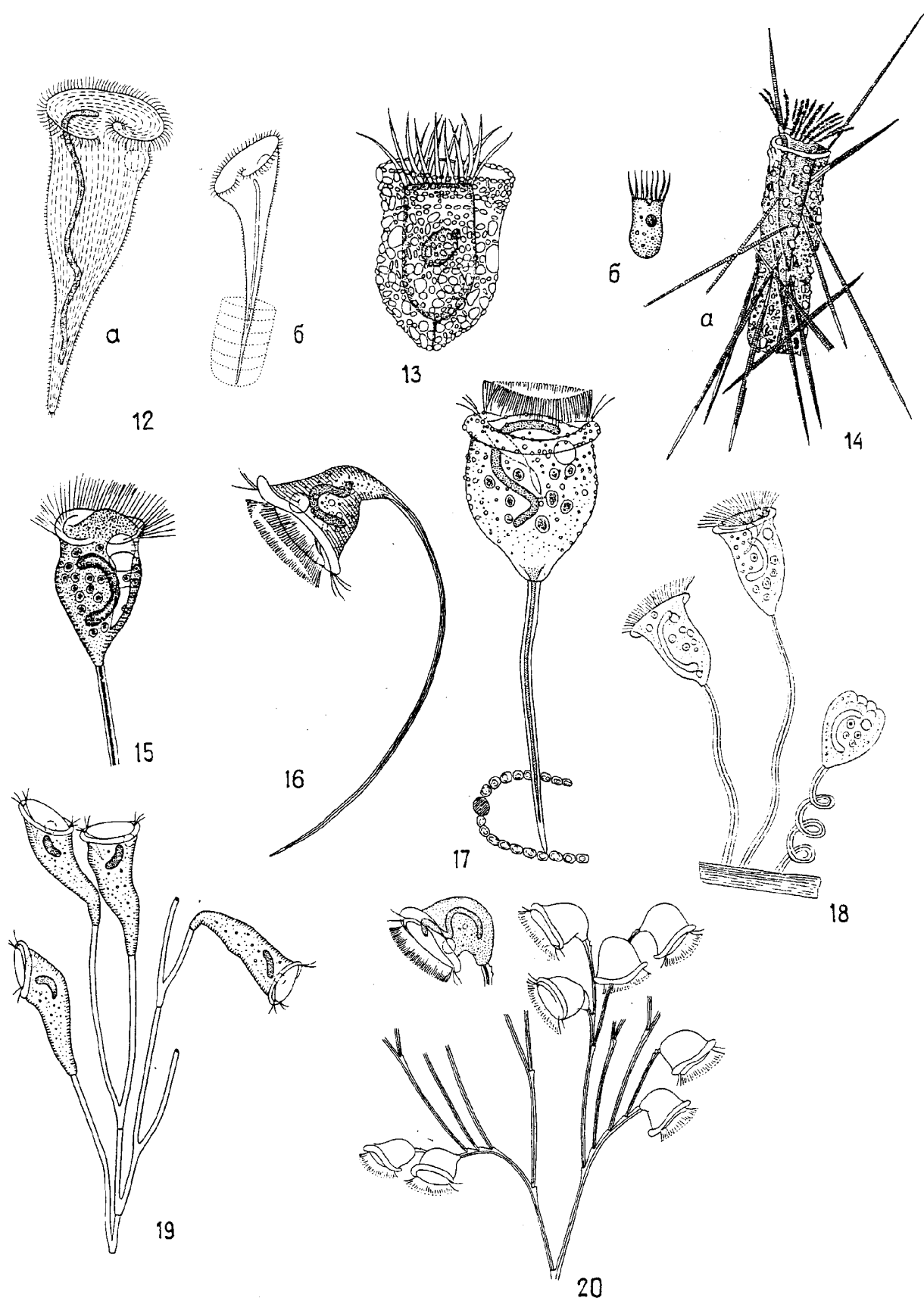


Рис. 1. (окончание):

12, а – *Stentor roeseli*, б – то же в домике, 13 – *Tintinnopsis cratera*, 14 – *Tintinnidium fluviatile*: а – в домике, б – без домика, 15–18 – вортицеллы (*Vorticella*): 15 – *V. convallaria*, 16 – *V. mayeri*, 17 – *V. anabaena*, 18 – *V. nebulifera*, 19 – *Epistylis rotans*, 20 – *Carchesium pectinatum*

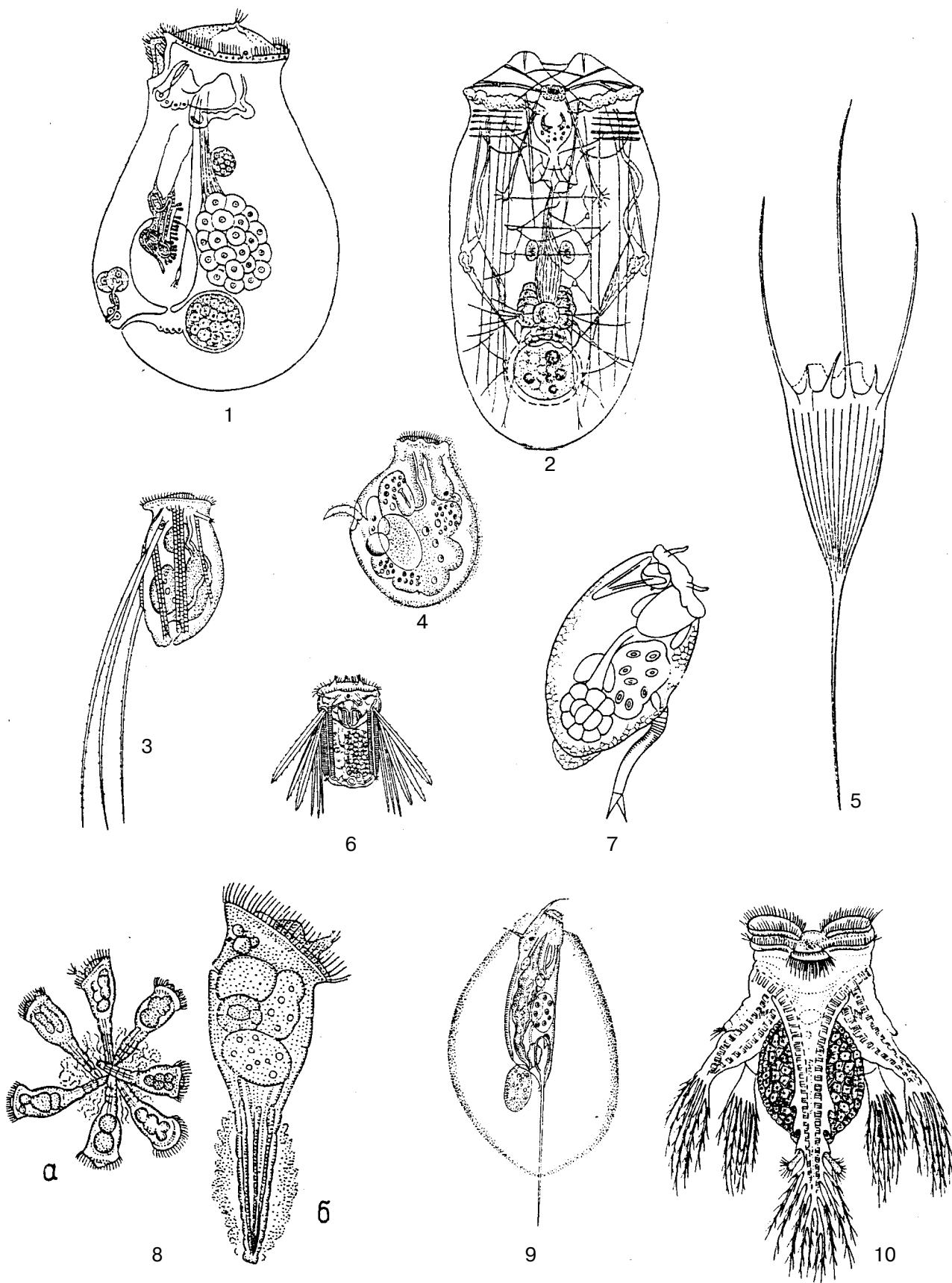


Рис. 2. КОЛОВРАТКИ (ROTATORIA):

1 – *Asplanchna herricki*, 2 – *A. priodonta*, 3 – *Filinia longiseta*, 4 – *Gastropus stylifer*, 5 – *Kellicottia longispina*, 6 – *Polyarthra* sp.,
7 – *Bipalpus hudsoni*, 8 – *Conochilus unicornis*: а – колония, б – отдельная особь, 9 – *Trichocerca cylindrica*,
10 – *Hexarthra mira*

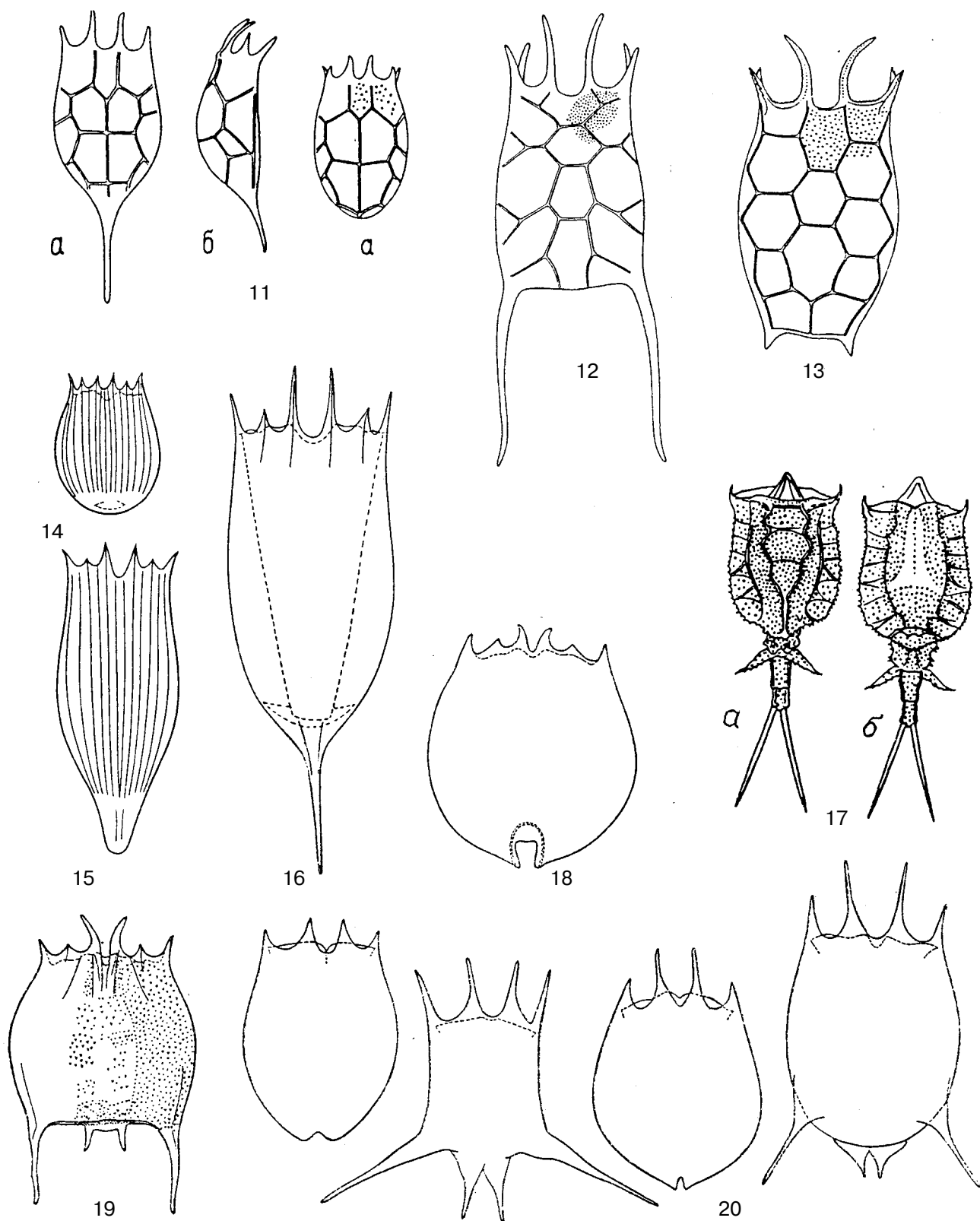


Рис. 2. (продолжение):

11 – *Keratella cochlearis*: а – вид со спинной стороны, б – вид сбоку, 12 – *Keratella quadrata*, 13 – *K. serrulata*, 14 – *Notholca squamula*, 15 – *N. acuminata*, 16 – *N. caudata*, 17 – *Trichotria truncatum*: а – со спинной стороны, б – с брюшной стороны, 18 – *Brachionus urceus*, 19 – *B. quadridentatus*, 20 – *B. calyciflorus* – различные формы

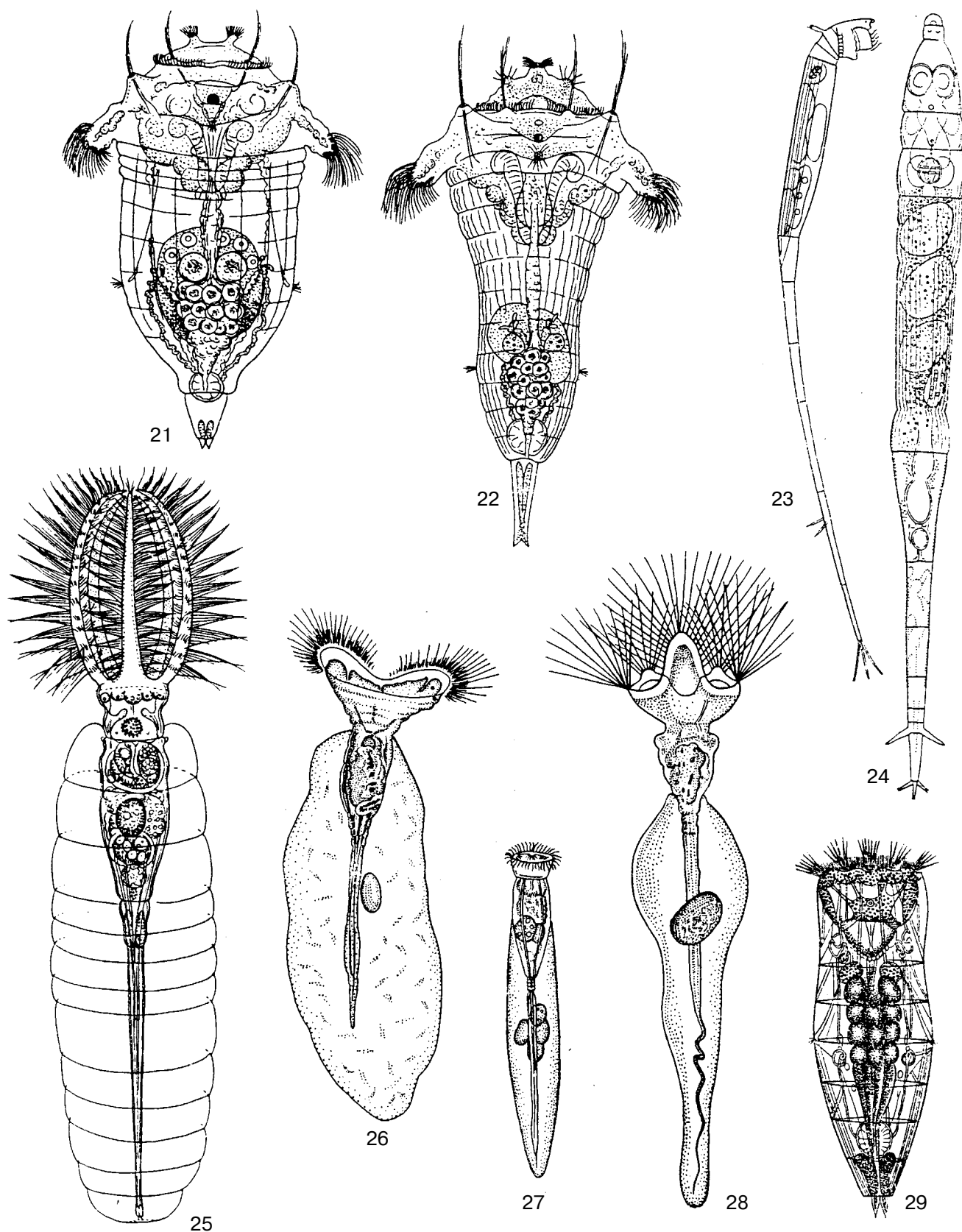


Рис. 2. (окончание):

21 – *Synchaeta pectinata*, 22 – *S. grandis*, 23 – *Rotaria neptunia*, 24 – *R. rotatoria*, 25 – *Stephanoceros fimbriatus* (в домике),
26–28 – *Collotheca* – различные виды (в домиках), 29 – *Epiphanes senta*

Наиболее типичным образованием, которое отличает коловраток от других животных, является самый замечательный для них орган – коловращательный аппарат, расположенный на передней части головы, представляющий собой совокупность различно расположенных на переднем конце тела ресничек. Коловраток называют еще «ротатории» – от латинских слов «*rota*» – колесо и «*fero*» – носить. Этот ресничный аппарат, очень нежный, красивый и разнообразный по форме, служит им как для передвижения, так и для захватывания пищи. Поражает исключительное разнообразие их движений (плавание, ползание, «шагание»), есть и сидячие формы. По способу движения различают две группы животных. Первая – плавающие формы. Это типично планктонные организмы, всю жизнь проводят в толще воды, находясь в непрерывном движении и не имея ни минуты покоя. Они плывут, вращаясь вокруг собственной оси, вперед по винтовой линии, медленнее, чем инфузории, захватывая при этом ресничками (фильтруя) пищевые частицы, взвешенные в воде (*Asplanchna*, *Synchaeta*, *Filinia*). Вторую, наиболее многочисленную группу составляют коловратки, которые и ползают (по дну), и плавают, и временно прикрепляются к какому-либо предмету (*Rotaria* и др.). Сюда относятся виды, живущие в береговой зоне различных водоемов от больших глубин до прибрежных зарослей и песчаных отмелей. Обычный озерный комплекс в наших озерах составляют *Asplanchna*, *Filinia*, *Kellicottia*, *Polyarthra*, *Conochilus*, *Keratella*, *Notholca* (рис. 2: 1, 2, 3, 5, 6, 8, 11, 16).

Большинство коловраток относятся к полифагам, питаются бактериями, водорослями, детритом. Есть среди них и хищники, пищей для которых служат более мелкие животные – не только простейшие, но и коловратки.

подавляющее большинство коловраток являются космополитами, они встречаются на всем земном шаре, хотя есть и виды-эндемики, свойственные только, например, озеру Байкал, Антарктиде или Америке. Они живут в самых разнообразных водоемах, нетребовательны к условиям существования – была бы вода, даже в ничтожном количестве или только временно, и пища. Им не важно, какая вода – проточная или стоячая, теплая или холодная. Почти при всех условиях они хорошо себя чувствуют и размножаются. Такие организмы называются убикистами, т. е. встречаются везде, повсюду. Подобное широкое распространение многих видов связано с легкостью их распространения на большие расстояния в сухом виде, у некоторых – взрослых самок, у других – покоящихся яиц.

Коловраток в наших водоемах не всегда бывает много, хотя среди них есть и круглогодичные формы. Обычно их численность довольно быстро увеличивается от июня к июлю, затем снижается и вновь возрастает осенью, в сентя-

бре–октябре. Подобное развитие связано с температурными условиями в водоеме и с развитием ракообразных, для которых они являются пищей.

Коловратки вполне заслуживают особого внимания, так как в озерах, реках и других водоемах в отдельные периоды они преобладают над всеми животными планктона, составляя до 99% от их общего числа. В период массового развития (в 1 см³ воды может быть несколько сот экземпляров) они играют весьма существенную роль в переработке органического вещества в водоеме. Они очищают воду, уничтожая массу бактерий, водорослей и детрита (разложившиеся остатки отмирающих животных и растений), которые им служат пищей. В то же время коловратки сами служат живым кормом другим организмам, не только ракообразным, но и особенно только что вылупившимся из икры личинкам многих видов рыб.

Следует отметить, что диагностика коловраток, особенно видовая, достаточно сложна. Большинство организмов требует определения в живом виде, однако некоторые массовые виды, имеющие своеобразную форму тела, в том числе такие крупные, как аспланхна, или характерный панцирь (керателла, келликотия и др.), сохраняющие их в фиксированном состоянии, вполне доступны для определения.

Ракообразные (низшие – *Entomostraca* и высшие – *Malacostraca*) благодаря исключительному разнообразию морфологии, физиологии и размеров нередко доминируют в основных биотопах практически во всех типах водоемов. Можно сказать, что по своему многообразию и участию в биотических связях в водной среде ракообразные занимают место, сравнимое только с положением насекомых в наземных экосистемах. По недавним подсчетам мировая фауна ракообразных включает около 40 000 видов, фауна России насчитывает около 2000 форм. В состав зоопланктона входят низшие ракообразные, среди которых лучше других изучены ветвистоусые и веслоногие рачки.

Ветвистоусые ракообразные (*Cladocera*), представленные в наших водоемах порядка 100 таксонами, обитают почти в каждом из них (рис. 3). При любом лове сачком или специальной сеткой можно поймать десятки и сотни мелких рачков, называемых водяными блохами и знакомых любителям аквариумов, которые кормят ими, живыми или сушеными, своих рыбок. Многие из этих рачков всю жизнь проводят в толще воды, оживленно передвигаясь, делая характерные взмахи задними антеннами, и составляют значительную часть планктона. К самым обычным видам среди них относятся дафнии и босмины (рис. 3: 1–5, 17–19). Такой вид дафний, как *Daphnia magna*, хорошо живущий в условиях лабораторной культуры, широко используется в мировой практике для токсикологических экспериментов (рис. 3: 1). Некоторые

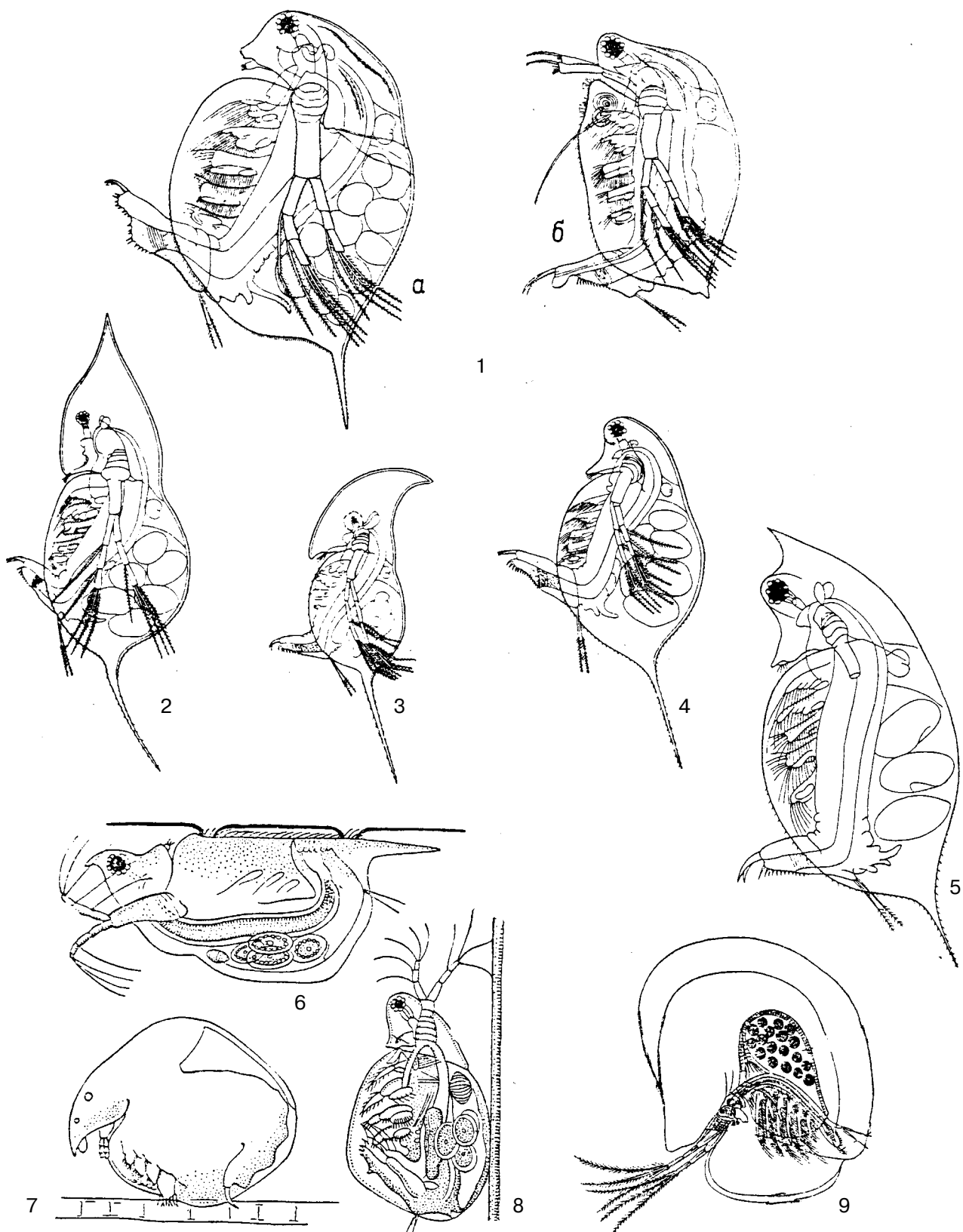


Рис. 3. ВЕТВИСТОУСЫЕ РАЧКИ (CLADOCERA):

1–4 – дафнии (*Daphnia*): 1 – *D. magna*: а – самка, б – самец, 2 – *D. cucullata*, 3 – *D. cristata*, 4–5 – *D. longispina*. Прикрепляющиеся рачки: 6 – *Scapholeberis mucronata* – у поверхности воды, 7 – *Chydorus sphaericus* – на нити водоросли, 8 – *Simocephalus vetulus* – на нити водоросли, 9 – *Holopedium gibberum*

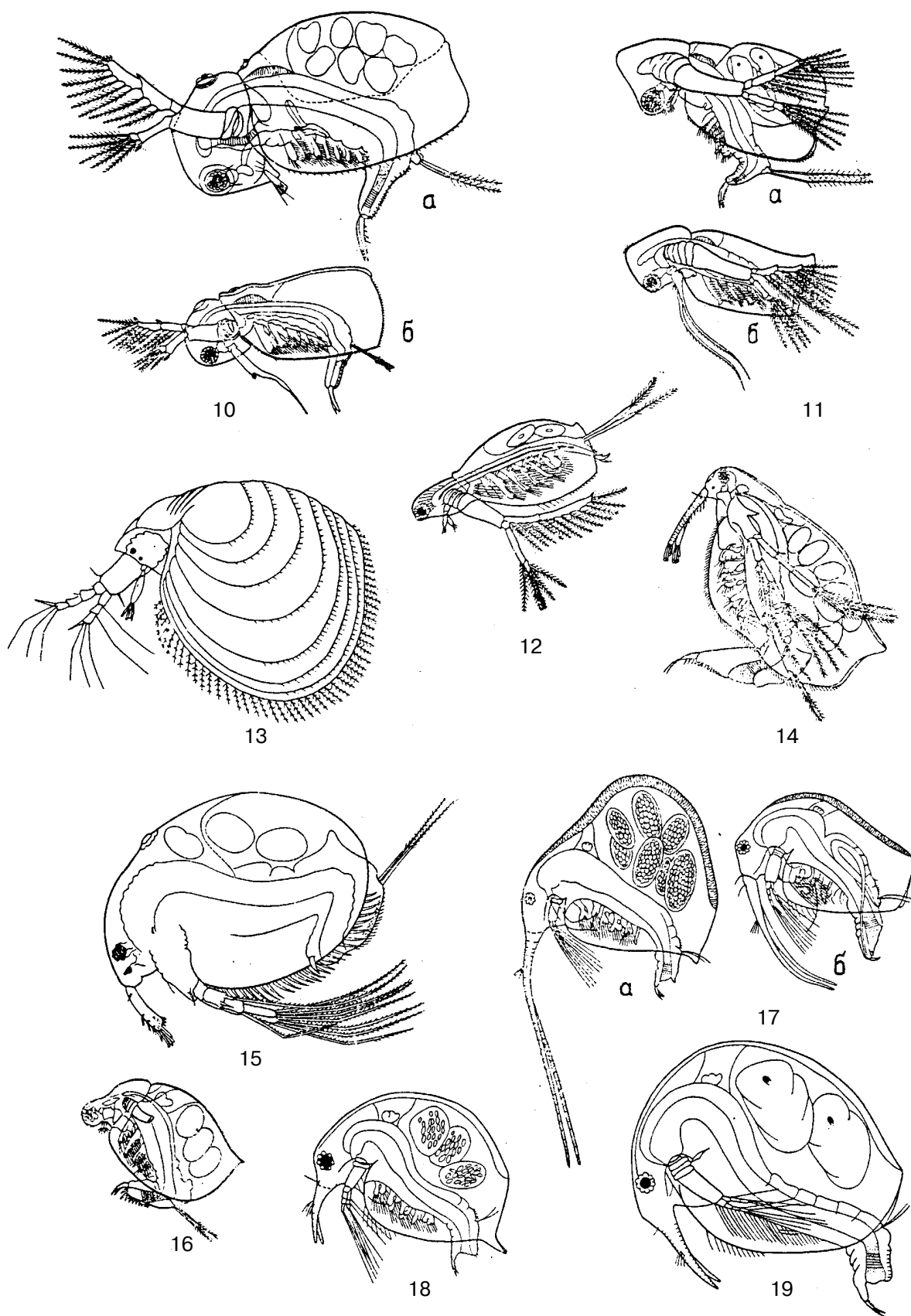


Рис. 3. (продолжение):

10 – *Sida crystallina*: а – самка, б – самец, 11 – *Limnosida frontosa*: а – самка, б – самец, 12 – *Diaphanosoma brachyurum*, 13 – *Ilyocryptus sordidus*, 14 – *Ophryoxuus gracilis*, 15 – *Macrothrix hirsuticornis*, 16 – *Ceriodaphnia pulchella*, 17–19: босмины (*Bosmina*): 17 – *B. coregoni*: а – самка, б – самец, 18 – *B. obtusirostris*, 19 – *B. crassicornis*

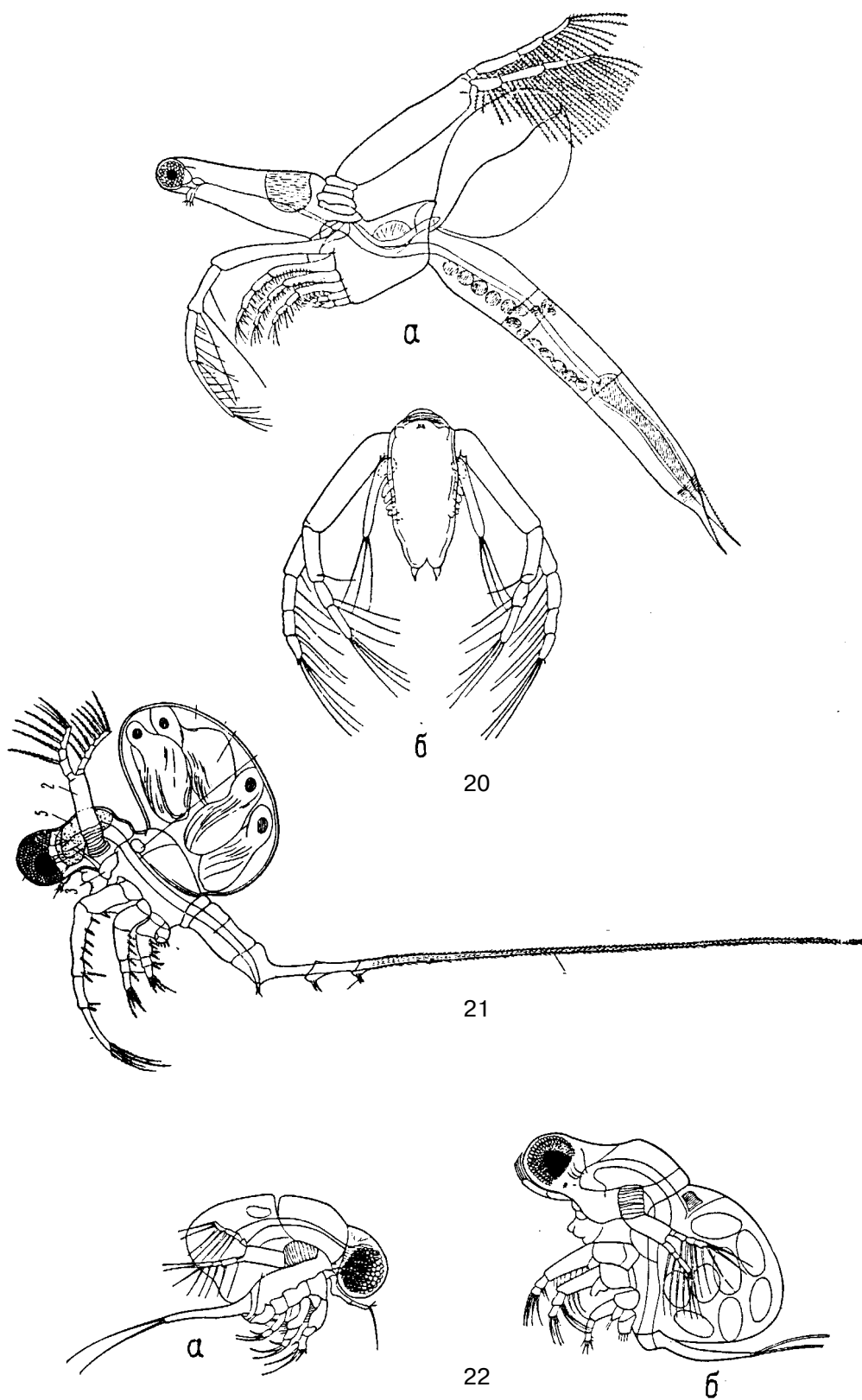


Рис. 3. (окончание):

20 – *Leptodora kindtii*: а – взрослая форма, б – личинка, 21 – *Bythotrephes longimanus*, 22 – *Polyphemus pediculus*:
а – самец, б – самка

из ветвистоусых передвигаются по дну – макротрикс (*Macrothrix*), илиокриптус (*Ilyocryptus*), есть и такие, которые то прикрепляются к растениям, то всплывают в водную толщу, как хидорус (*Chydorus*) (рис. 3: 7, 13, 15). Иные приурочены преимущественно к прибрежным водам, например, полифемус (*Polyphemus*), крупный рачок с большим черным глазом (рис. 3: 22). В наших северных водоемах широко распространен своеобразный рачок голопедиум (*Holopedium gibberum*), имеющий поверх раковины студенистую оболочку, придающую ему вид прозрачного шарика (рис. 3: 9). Все они по характеру питания являются фильтраторами. У большинства ветвистоусых грудные ножки, снабженные многочисленными перистыми щетинками, образуют фильтрационный аппарат. Ножки совершают до 300–500 взмахов в 1 мин, при этом щетинки непрерывно отфильтровывают мелкую взвесь – бактерии, водоросли, частицы детрита, которая и служит им пищей. К видам-хищникам среди ветвистоусых относится самый крупный (до 1 см) совершенно прозрачный рачок лептодора (*Leptodora*), который парит в воде и своим громадным глазом высматривает добычу – коловратку или какого-нибудь более мелкого рачка, или даже свою молодь (рис. 3: 20). Примерно так же охотится и другой крупный хищник – причудливой формы вид битотреф (*Bythotrephes*), снабженный необыкновенно длинной хвостовой иглой, в 5–6 раз превосходящей по длине его тело (рис. 3: 21). В свою очередь он сам является излюбленным кормом для рыб. Следует отметить, что в некоторых водоемах хищные ветвистоусые выедают заметную часть зоопланктона (свыше 40%).

Веслоногие рачки (*Copepoda*) включают более 70 таксонов и зачастую не уступают по численности ветвистоусым, а в весенне-зимний период даже превосходят их. Разнообразны образ жизни, способ питания и среда обитания этих рачков. Среди них выделяют три большие группы (подотряда). Общий их вид показан на рис. 4: 1. К исключительно планктонным рачкам (15 таксонов) относятся каланиды (*Calanoida*). Длинные антенны и перистые щетинки позволяют им неподвижно парить в воде, лишь очень медленно погружаясь. Ярким представителем в карельских водоемах является самый крупный из них лимнокалянус (*Limnocalanus*) – реликтовый вид морского происхождения, который населял морские водоемы в конце ледниковой эпохи, бывшие на значительной территории Скандинавии и севера России (рис. 4: 2). Он присутствует в планктоне круглый год, а зимой является одним из основных элементов, особенно в крупных озерах. Так, в глубоководных районах Онежского озера этот рачок может составлять до 90% общего веса планктона. Самый массовый круглогодичный вид в этой группе – довольно крупный рачок диаптомус (*Eudiaptomus*) (рис. 4: 1, б).

Другую группу веслоногих (более 40 таксонов) составляют циклопиды (*Cyclopoida*), или просто циклопы, которых отличает наличие двух яйцевых мешков у самок (рис. 4: 1, а). Пресноводные циклопы распространены очень широко. Некоторые виды встречаются почти повсеместно. Они приспособились к перенесению неблагоприятных условий, в частности, переносят высыхание водоема, образуя цисты и переселяясь по воздуху. Поэтому нет ничего удивительного в появлении циклопов в весенних лужах, возникающих при таянии снега. Плавают они иначе, чем лимнокалянус или диаптомус. Характер «фигур», выполняемых ими, очень сходен с фигурами высшего пилотажа (дуги, повороты, мертвые петли, пики, вращения вокруг оси и т. д.). Подобное передвижение облегчает им обеспечивать себе питание, поскольку большинство циклопов – хищники. Они нападают не только на таких малоподвижных животных, как сидящие на дне или на растениях олигохеты или мотыли, но и на плавающих в воде других рачков, в том числе и на себе подобных, а также на коловраток, наблюдалось нападение циклопов на икринки и даже личинок рыб. Есть среди циклопов и растительноядные виды. Последние (виды *Eucyclops*) питаются главным образом зелеными нитчатыми водорослями, а также диатомовыми и даже синезелеными. Основной зоной обитания циклопов служит прибрежная полоса с зарослями водных растений. При этом к зарослям определенных растений приурочены определенные виды циклопов. Сравнительно немногие виды считаются настоящими планктонными животными. Например, мезоциклопс (*Mesocyclops*) постоянно обитает в поверхностных слоях воды, другие, особенно крупные циклопы (*Cyclops strenuus*), опускаются днем на значительную глубину (рис. 4: 3–5).

Одной из слабоизученных групп среди веслоногих рачков в наших водоемах, насчитывающей к настоящему времени 18 таксонов, являются гарпактициды (*Harpacticoida*). Это червеобразные, большей частью очень мелкие рачки, хотя и разнообразные, но никогда не встречающиеся в массовых количествах (рис. 4: 1, б). Они обитатели дна, большинство из этих рачков ползает по дну и донным растениям и является пищей для рыб.

Ракушковые рачки – остракоды (*Ostracoda*) – приспособились жить в самых разнообразных условиях. Трудно найти водоем, где бы они не встречались. Тем не менее, вследствие отсутствия специалистов эти представители фауны изучались в сравнительно небольшом числе карельских водоемов. Несмотря на повсеместное распространение, остракод следует признать одной из наименее изученных групп пресноводных низших ракообразных (36 таксонов). Для новичка определение видов весьма затруднительно. Среди ракушковых есть хищники и грунтоеды, донные и планктонные

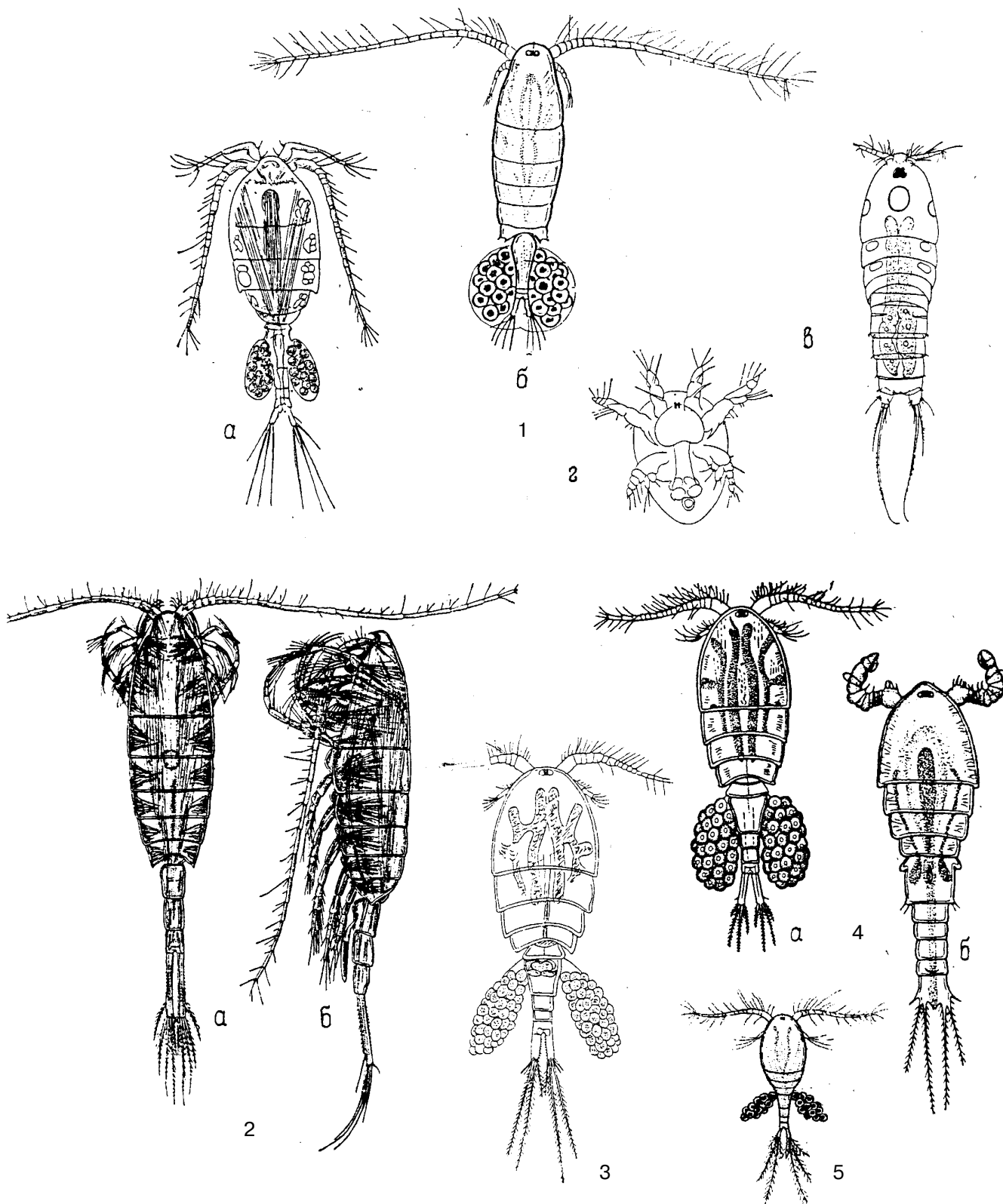


Рис. 4. ВЕСЛОНОГИЕ РАЧКИ (COPEPODA):

1 – общий вид; а – подотряд *Cyclopoida*, б – подотряд *Calanoida*, в – подотряд *Harpacticoida*, г – личинка (науплиус),
 2 – *Limnocalanus macrurus*, 3–5 – циклопы: 3 – *Acanthocyclops viridis*, 4 – *Cyclops strenuus*: а – самка, б – самец,
 5 – *Cyclops* sp.

формы, зарывающиеся в грунт и ползающие по растениям. Размеры большинства видов не превышают 1–1,5 мм и лишь некоторые достигают 3,5 мм и более. Все тело целиком заключено в двустворчатую раковину – мягкую или жесткую, полупрозрачную или непрозрачную, которая может раскрываться и посредством особого мускула-замыкателя плотно закрываться. В раскрытом состоянии из нее выставляются самое большое щетинки ножек (рис. 5).

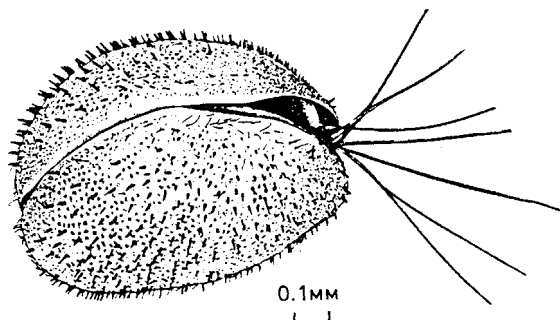


Рис. 5. РАКУШКОВЫЕ РАЧКИ (*OSTRACODA*).
Общий вид

Листоногие (*Phyllopoda*) рачки выделяются среди других большими размерами, длина у большинства видов составляет 1–2 см, хотя встречаются особи и до 7 см. По типу строения они распределяются на три группы: щитни (*Notostraca*), жаброноги (*Anostraca*) и раковинные (*Conchostraca*), различия между которыми хорошо видны (рис. 6). Листоногие обитают обычно в небольших постоянных и самых разнообразных временных водоемах (например, в возникающих после таяния снега, разлива рек и дождей лужах). В мелководной прибрежной зоне озер и водохранилищ их можно найти очень редко.

Сезонные изменения зоопланктона. Планктон, как и всякий биоценоз, зависит прежде всего от своего биотопа, т. е. совокупности господствующих в воде физических, прежде всего температурных, и химических условий, в которых приходится жить. Понятно, что эти условия не остаются постоянными ни во времени, ни в пространстве. Вместе с ними должен меняться и планктон – как видовой состав, так и его общая численность. Естественно, что от зимы к лету эти условия для большинства

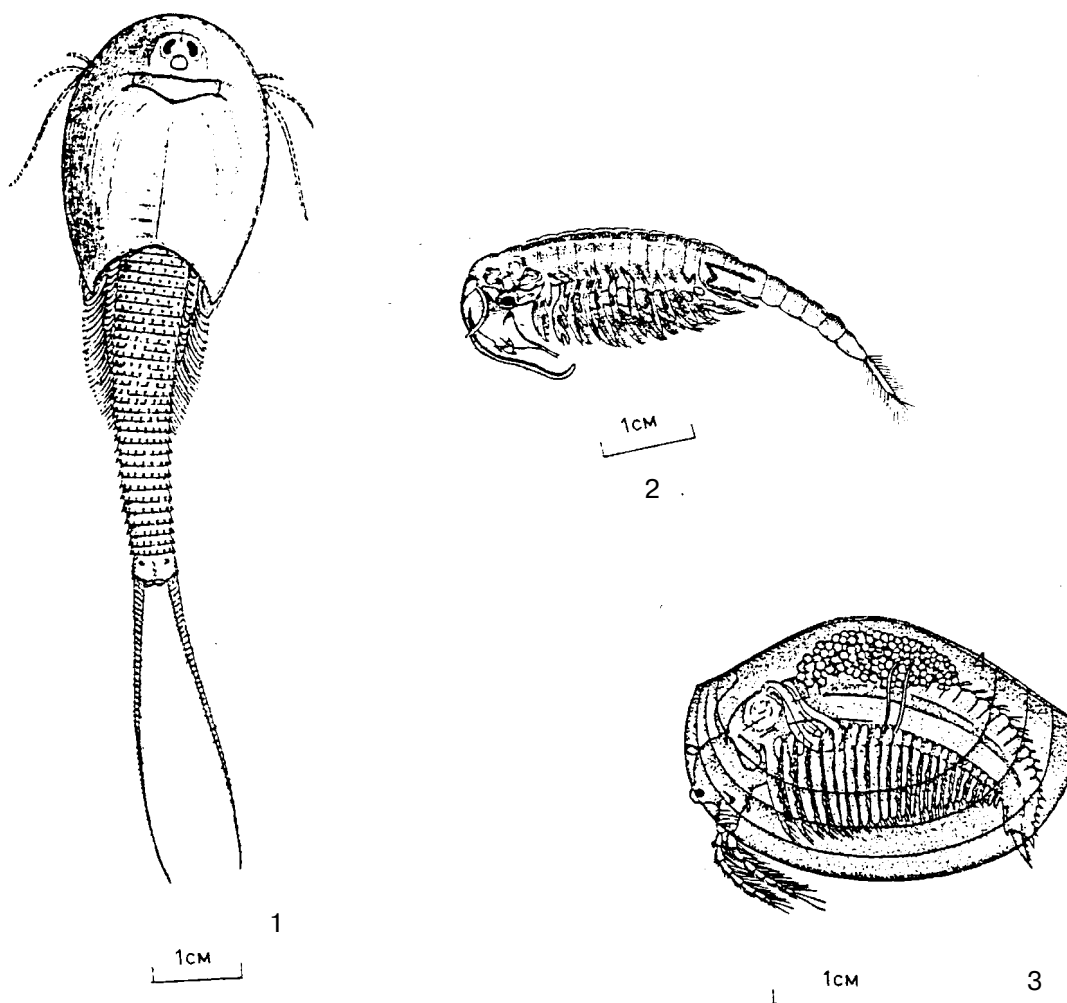


Рис. 6. ЛИСТОНОГИЕ РАЧКИ (*PHYLLOPODA*):

1 – щитни (*Notostraca*), 2 – жаброноги (*Anostraca*), 3 – раковинные (*Conchostraca*)

организмов улучшаются, от лета к зиме ухудшаются. Соответственно этому и планктон наиболее богат во второй половине лета, наиболее беден зимой. Это касается и общего количества, и числа входящих в его состав видов (рис. 7). В наших озерах есть виды, живущие в узком интервале температур, так называемые stenothermные виды. Одни из них типично летние – многие ветвистоусые рачки (лептодора, полифемус, сида и др.), другие – встречаются зимой (некоторые циклопы, коловратки). Напротив, эвритермные виды существуют в течение всего года (диаптомус из рачков, керателла из коловраток).

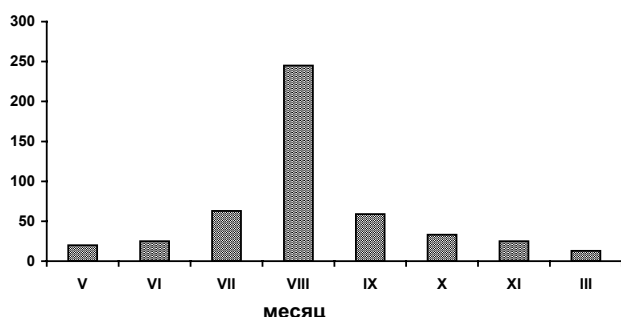


Рис. 7. ИЗМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ЗООПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА (тыс. экз./м³) В ТЕЧЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО СЕЗОНА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Структура сообщества зоопланктона очень динамична, она изменяется в зависимости от термического и динамического режимов текущего и предыдущего годов, от складывающейся в водоеме трофической ситуации. Однако ее основные особенности повторяются из года в год. В начале июня, в ранневесенний период, главенствующее положение в сообществе занимают инфузории. По мере прогревания воды и изменения условий питания руководящим комплексом становятся коловратки. В летний период благодаря, в частности, интенсивному развитию бактерий доминируют ветвистоусые ракообразные, а количество инфузорий и коловраток в результате конкурентной борьбы и прямого выедания сводится к минимуму. Осенью резко снижается численность ветвистоусых ракообразных, вновь возрастает роль коловраток. Зимний зоопланктон представлен в основном веслоногими ракообразными и коловратками. В зимние месяцы, подо льдом, число особей в планктоне невелико, например, в центральной части Онежского озера в марте насчитывается около 1,0 тыс. экз./м³ и даже меньше рачков и коловраток. Напротив, летом в пору максимального прогрева водных масс зоопланктон достигает своего расцвета – десятки и сотни (200–500) тыс. экз./м³ в крупных водоемах до нескольких миллионов в 1 м³ в небольших озерах южной и юго-восточной Карелии. Таким образом, в течение года происходит смена одних планктических форм другими (рис. 8).

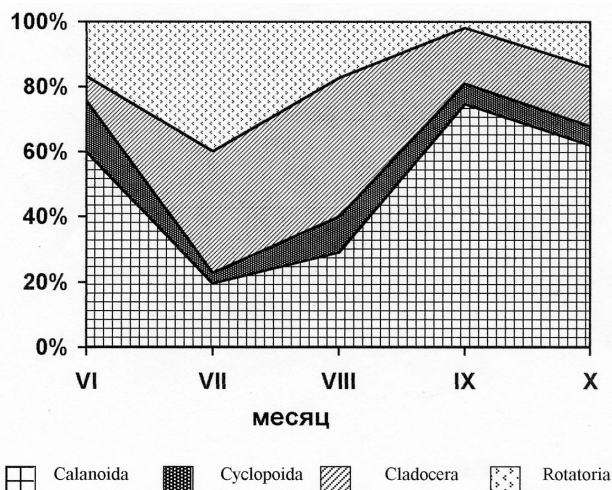


Рис. 8. ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ГРУПП ЗООПЛАНКТОНА В ОБЩЕЙ БИОМАССЕ СООБЩЕСТВА (%) В ТЕЧЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО СЕЗОНА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Многие виды зиму проводят в стадии покоящегося яйца, которое начинает свое развитие весной и дает начало самке. Такие яйца, богатые желтком, имеющие защитные оболочки, откладываются в воду и опускаются на дно. У дафний, например, в выводковой камере на спинной стороне возникает так называемое седлышко, или эфиппиум, содержащий обычно два заключенных в хитиновую оболочку яйца (рис. 9). Подобные яйца помогают перенести не только низкую температуру, но и другие неблагоприятные условия (недостаток пищи, загрязнение).

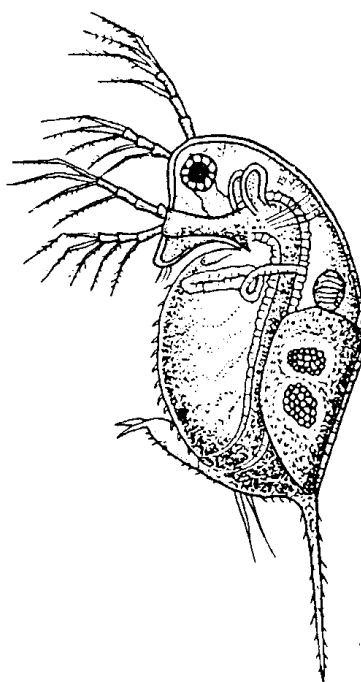


Рис. 9. ЭФИППИЙ НА СПИННОЙ СТОРОНЕ ДАФНИИ

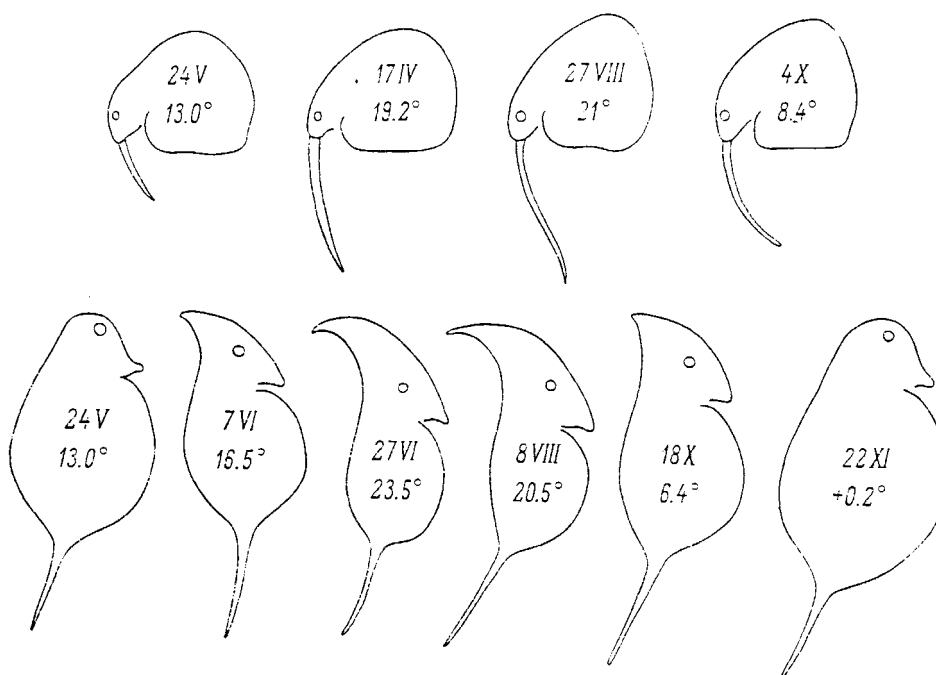


Рис. 10. СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ (ЦИКЛОМОРФОЗ) ВЕТВИСТОУСЫХ РАЧКОВ
Верхний ряд – *Bosmina coregoni*. Нижний ряд – *Daphnia cristata*

С сезонными изменениями в жизни многих ветвистоусых рачков связано такое любопытное явление, как цикломорфоз. Сущность его заключается в том, что форма и величина раковины определенных видов закономерно изменяются в течение года. В летнее время у некоторых видов дафний на голове появляется так называемый «шлем», а у босмин на спине – «горб». Кроме того, у дафний удлиняется задний шип на раковине, а у босмин – передние антенны (рис. 10). Эти изменения происходят параллельно изменению температуры воды, которая важна не сама по себе, а ее воздействие на плотность. Прогретая вода обладает, как известно, меньшей плотностью, чем охлажденная, поэтому и для парения в ней необходимы более длинные выросты или иная форма тела.

В сезонных изменениях зоопланктона помимо температурного действует, безусловно, и другой фактор – питание: чем больше развивается в планктоне тех организмов, которые для представителей данного вида служат пищей, тем лучше живет и этот вид. Именно температура и наличие пищи – могущественнейшие из всех внешних факторов в жизни организмов зоопланктона.

Пространственное распределение зоопланктона. В достаточно глубоких озерах условия жизни планктона на различной глубине далеко не однородны. Совокупность подобных различий всех условий по вертикали – температурных, химических, оптических – вызывает соответствующие различия в количественном и качественном распределении планктона. Наряду с этими первичными физическими факторами играют роль и вторичные – зависимость

животных организмов от растительных, хищников – от их добычи и т. д. Наиболее богатым является обычно поверхностный слой воды до 2–5 м, в нем бывает сосредоточено до половины и более планктонов – десятки, сотни тысяч экземпляров и даже несколько миллионов в 1 м³ (рис. 11).

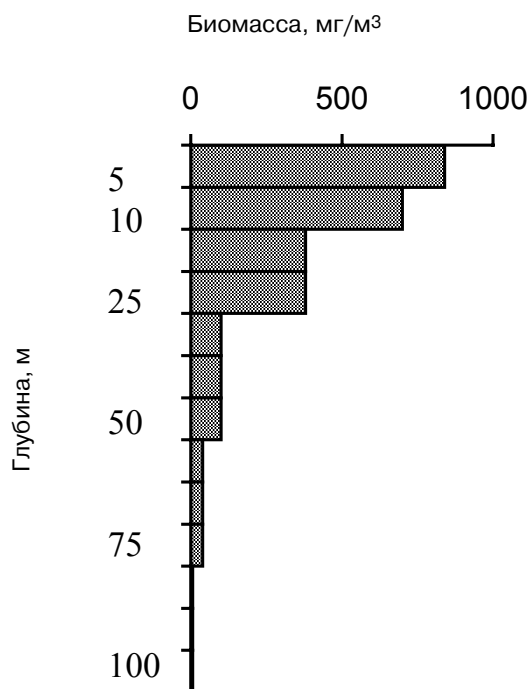


Рис. 11. ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗООПЛАНКТОНА В СЕВЕРНОМ РАЙОНЕ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Вертикальное распределение условий в водоеме не остается постоянным даже в течение суток: оно постоянно меняется от дня к ночи и от ночи ко дню. С этим явлением связаны суточные вертикальные миграции зоопланктона в толще воды, когда рачки, особенно крупные, такие как лимнокалянус, диаптомус, циклопы, ночью поднимаются ближе к поверхности воды, а днем опускаются вглубь. Стремление рачков подняться в поверхностные слои объясняется изобилием там планктонных водорослей, которыми питаются многие веслоногие-фильтраторы. Уход из этих богатых пищей слоев утром связывают с неблагоприятным действием света, а также с защитной реакцией, помогающей избежать выедания рыбами в более глубоких темных слоях воды (рис. 12).

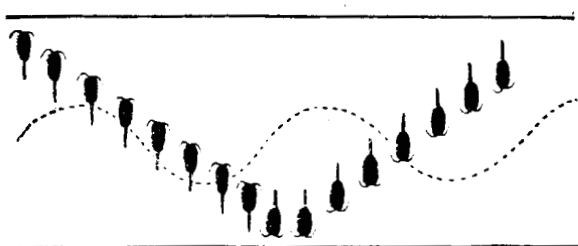


Рис. 12. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СУТОЧНЫЕ МИГРАЦИИ РАЧКА ЛИМНОКАЛАНУСА (*LIMNOCALANUS*) В ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ

Помимо суточных вертикальных миграций существуют и сезонные миграции. Весной и летом зоопланктон держится в более теплых поверхностных слоях воды, а осенью и зимой опускается в нижние (рис. 13).

Горизонтальное распределение планктона в пелагиали больших и глубоких озер носит довольно равномерный характер. И это понятно, поскольку физико-химические условия жизни здесь повсюду очень сходны между собой. В

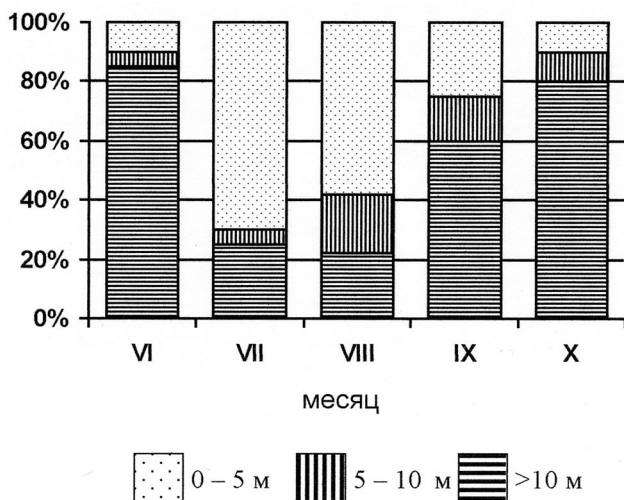


Рис. 13. ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОМАССЫ ЗООПЛАНКТОНА (% ОТ ОБЩЕЙ БИОМАССЫ) В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА (В СЛОЯХ ВОДЫ 0–5, 5–10 м и ГЛУБЖЕ 10 м)

небольших и мелких водоемах наблюдается иная картина. В них более резко проявляются различия в прогреваемости верхнего слоя воды, в прозрачности, распределении растительности. Все это вызывает неравномерность распределения зоопланктона по горизонтали. При таких условиях нередко образуются «рои» или «тучи» планктонных организмов, состоящие иногда лишь из одного вида, например, дафний или полифемусов, которые можно наблюдать летом визуально в прибрежной зоне водоемов.

Значение зоопланктона в жизни водоемов. Органическое вещество в водоемах создается главным образом за счет жизнедеятельности микроскопических водорослей – фитопланктона. Ракообразные поедают эти водоросли и сами, в свою очередь, поедаются рыбами и, следовательно, выступают в качестве посредников, делающих создаваемое в водоемах органическое вещество доступным для рыб. С другой стороны, они используют в пищу огромные массы погибших животных, обеспечивая таким образом очищение водоемов. Достигая высокой численности, ветвистоусые рачки потребляют колоссальное количество бактерий и водорослей. Так, один рачок способен отфильтровать в сутки 100–300 тыс. клеток хлореллы. В естественном самоочищении водоемов очень значительна роль коловраток. Благодаря прожорливости и массовости коловратки, эти фито-, детрито- и полифаги, являются прекрасными санитарами загрязненных вод. Вместе с водорослями они могут поглощать также и радиоактивные элементы, удаляя их из водной толщи.

Существование очень многих рыб в значительной степени зависит от ракообразных. Некоторые рыбы, принадлежащие в карельских водоемах к числу важнейших промысловых, например ряпушка, всю свою жизнь питаются планктонными ракообразными (дафниями, босминами, циклопами, коловратками). Другие, а это почти все наши рыбы (сиг, лосось, паля, судак, корюшка, окунь, плотва, язь, лещ), используют их только вскоре после выхода из икринки – на стадии личинки или в первый год жизни, а затем переходят на другую пищу. Зоопланктон потребляется рыбами в огромном количестве. Так, в кишечнике ряпушки находили десятки тысяч (до 50 тыс. босмин и более 8 тыс. дафний), в желудке сига – до 3 тыс. рачков биотрефов. Часто в желудках рыб обнаруживается рачков даже больше, чем отлавливается сетью. Питательность такого корма довольно высока: содержание белка в теле дафнии достигает 50%, а жира – 11% по весу.

Есть и отдельные отрицательные примеры. Так, существуют паразитические веслоногие ракообразные, большинство из них эктопаразиты, которые прикрепляются к самым различным рыбам. Они поселяются на наружных покровах, жабрах, глазах, реже в ротовой полости рыб. Одним из самых обычных паразитов можно

считать эргасилюса (*Ergasilus*), который прикрепляется к жабрам щук и других рыб. Нередко к одной рыбе прикрепляется по несколько десятков, а иногда и сотни рачков. Чем старше рыба, тем больше рачков может на ней паразитировать. Постепенно эпителий жабр разрушается, и рыба погибает. Помимо этого, хищные циклопы вместе с другой пищей заглатывают и личинок паразитических червей, например лентеца широкого, и становятся таким образом промежуточным хозяином этих паразитов человека, кошки или других млекопитающих, вызывающих малокровие.

Использование организмов зоопланктона для биологического анализа воды. Зоопланктонное сообщество, как всякое сообщество, характеризуется определенной, присущей ему организацией. Малейшие изменения условий существования организмов отражаются на видовом составе, численности, соотношении отдельных групп, структуре популяций. Таким образом, зоопланктон в целом и его отдельные виды служат характеристикой состояния водной среды, показателем нарушения чистоты воды, степени загрязнения водоема. Прежде всего к индикаторам загрязнения следует отнести коловраток и простейших. Многие из них приурочены к водам определенной степени загрязнения, способны существовать в самых разнообразных, в том числе неблагоприятных условиях, например, при недостаточном содержании кислорода в воде или значительном количестве органических веществ.

Оценка качества воды или степени загрязнения вод может производиться двумя путями: 1) по результатам сравнения населения на участках загрязненных с участками контрольными, т. е. теми, где загрязнение отсутствует, 2) по индикаторным организмам.

В первом случае оценка качества воды производится на основании анализа материала по качественному и количественному развитию зоопланктона. Учитывается численность, биомасса зоопланктеров, общее число видов в основных таксономических группах (простейшие, коловратки, кладоцеры, копеподы), соотношение основных групп по численности, массовые виды и их процент от общей численности. Принимается во внимание наличие того или иного вида или группы и даже в большей степени отсутствие вида или группы. Учитываются изменения в структуре зоопланктонного сообщества, нарушение в соотношении между основными группами. Признаками изменений условий существования в худшую сторону являются присутствие в пробе самцов, которые по своим размерам значительно меньше, чем самки, наличие эфиппиев или, например, появление ярко-красной окраски у дафний вследствие увеличения содержания гемоглобина в крови, что служит признаком низкого содержания в воде кислорода. Подобную картину можно, кстати, наблюдать и в обычном домашнем аквариуме.

Во втором случае для экологической оценки качества воды используют систему сапробных организмов (при отсутствии каких-либо специфических загрязнений), которая основана на зависимости видового состава и количественных характеристик от концентрации органических веществ в водоеме. Согласно системе сапробности, разработанной еще в начале XX в. немецкими учеными Р. Колквитцем и М. Марссоном, в зависимости от загрязнения органическими веществами в водоеме выделяется несколько зон: полисапробная (очень грязная), мезосапробная с двумя подзонами: α - и β -мезосапробные (загрязненная в большей или меньшей степени) и олигосапробная (чистая). Для каждой из этих зон характерно более или менее интенсивное развитие тех или иных организмов зоопланктона – показателей сапробности. Так, вблизи выпуска сточных вод Кондопожского ЦБК в Кондопожской губе Онежского озера или Сегежского ЦБК в Выгозере вследствие содержания в воде значительного количества органических веществ наблюдается высокая плотность бактерий, простейших, а вслед за ними ракообразных и коловраток (до 170 – свыше 300 тыс. экз./м³). Со временем по мере изменения условий существования одни виды замещаются другими (например, в Кондопожской губе на смену босминам приходят дафнии), снижается количество наиболее чувствительных видов (такого как рачок диаптомус в Выгозере). Некоторые рачки (диаптомус, гетерокопе, голопедий) даже совсем исчезают из планктона, что наблюдается в озере Поппаяярви (система р. Кенти) под действием техногенных вод Костомукшского ГОКа, отличающихся высоким содержанием в воде минеральных компонентов (в том числе калия). В целом уменьшается видовое разнообразие зоопланктона, значительно увеличивается количество простейших и коловраток по сравнению с ракообразными. В то же время в олигосапробной зоне, к которой можно отнести центральную часть Онежского озера, разнообразный по составу зоопланктон не сопровождается большой численностью организмов – менее 20 тыс. экз./м³. Обычно по составу и количественному развитию зоопланктона большинство карельских водоемов относится к классу олиго- β -мезосапробных, т. е. чистых или умеренно загрязненных.

Видами-индикаторами повышенной сапробности среди простейших являются *Paramecium caudatum*, *Didinium nasutum*, *Aspidisca costata*, *Stentor roeseli*, *Vorticella convallaria* (рис. 1: 1, 8–9, 11, 12, 15). Многие коловратки могут служить хорошими индикаторами качества вод. Так, о несомненном загрязнении воды говорит развитие *Brachionus urceus*, *Rotaria neptunia*, *Rotaria rotatoria*, *Epiphanes senta* (рис. 2: 18, 23, 24, 29), показателями β -мезосапробных вод являются часто встречающиеся в наших водоемах *Filinia longiseta*, *Keratella cochlearis* и более

редкий *Brachionus calyciflorus* (рис. 2: 3, 11, 20). Среди веслоногих рачков циклопиды (различные виды циклопов) более выносливы к загрязнению, чем каланоиды (диаптомус), они часто встречаются как в β -мезосапробной, так и в α -мезосапробной зоне. Из ветвистоусых рачков в водах с повышенным содержанием органических веществ в больших количествах развиваются *Daphnia longispina*, *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus* (рис. 3: 4, 5, 7). В целом же следует отметить, что большинство видов – индикаторов сапробности среди простейших, коловраток и ракообразных относится к олиго- β и β -мезосапробным формам. Показатели очень чистых вод или, напротив, очень грязных мало численны.

Методы отбора и обработки проб зоопланктона. Для научных целей существуют специальные приборы, которые позволяют отбирать пробы зоопланктона на разных глубинах, отлавливать различные по размерам группы организмов (планктонная сеть Джеди, планктобаты различных конструкций) (рис. 14). Более простым и доступным методом, не требующим сложного оборудования, является способ отбора проб путем процеживания (отобранного ведром или ковшом) какого-то объема воды (обычно 50–100 л) через так называемую качественную сеть Апштейна (рис. 15). Эта сеть состоит из капронового конуса, нашитого с помощью полоски плотной ткани на металлическое кольцо, заканчивающегося снизу металлическим (можно стеклянным) стаканчиком, в котором концентрируется собираемый планктон. Совсем простой способ – возможный отлов сачком, сшитым из плотной капроновой ткани, самых крупных особей в прибрежной зоне водоема и затем смыв в какой-либо сосуд.



Рис. 14. ОТБОР ПРОБ ЗООПЛАНКТОНА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ СЕТЬЮ ДЖЕДИ

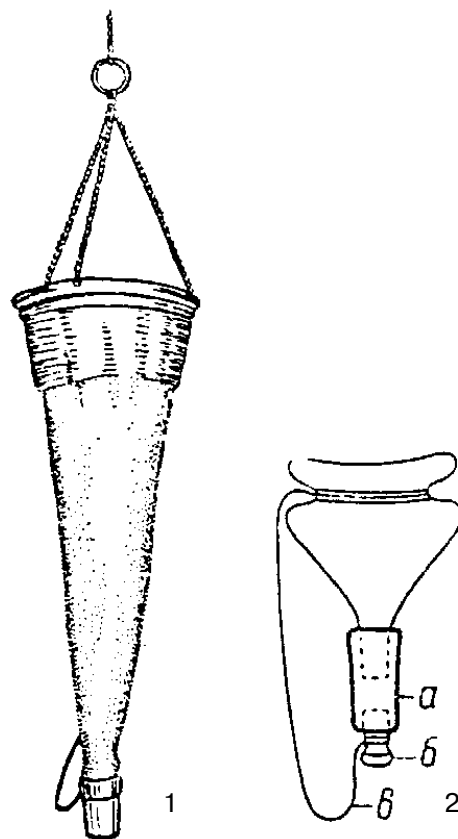


Рис. 15. КАЧЕСТВЕННАЯ ПЛАНКТОННАЯ СЕТЬ АПШТЕЙНА:

1 – общий вид, 2 – стаканчик к ней: а – резиновая трубка, б – пробка (или зажим), в – шнурок

Живые или фиксированные формалином (1 см³ на 100 см³ воды) или спиртом (70%) пробы просматривают под биноклем (анализ деталей строения тела животных – под микроскопом). Для этого пробу помещают небольшими частями в часовое стекло, чашку Петри или приспособленную для этих целей прозрачную посудину. В научных лабораториях применяют камеру Богорова. Интенсивное движение организмов в живой пробе можно приостановить добавлением раствора желатина (10%).

На рисунках 1–6 показаны наиболее распространенные в наших водоемах формы зоопланктона – представители основных систематических групп, в том числе и показатели загрязненных вод.

ЛИТЕРАТУРА

Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем. СПб., 1996. 189 с.

Герд С. В. Обзор гидробиологических исследований озер Карелии // Тр. Карело-Финского отдел. ВНИОРХ. Т. 11. Ленинград-Петрозаводск, 1946. С. 27–139.

Жизнь животных. Т. 1 и 2. Беспозвоночные. М., 1968.

Киселев И. А. Планктон морей и континентальных водоемов. Л., 1968. Т. 1; 1980. Т. 2.

Куликова Т. П. Видовой состав зоопланктона внутренних водоемов Карелии // Тр. Карельского науч. центра РАН. Биогеография Карелии. Серия Б. Биология. Вып. 2. Петрозаводск, 2001. С. 133–151.

Куликова Т. П. Зоопланктон водоемов бассейна реки Шуи (Карелия). Петрозаводск, 2004. 124 с.

Макрушин А. А. Биологический анализ качества вод. Л., 1974. 60 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Л., 1977. 511 с.

Реймерс Н. Ф., Яблоков А. В. Словарь терминов и понятий, связанных с охраной живой природы. М., 1982. 144 с.

Хейсин Е. М. Краткий определитель пресноводной фауны. М., 1962. 148 с.

Яшнов В. А. Практикум по гидробиологии. М., 1969. 428 с.

СЛОВАРЬ используемых терминов

Биомасса – выраженное в единицах массы (веса) или энергии количество живого вещества тех или иных организмов (популяций, видов, группы видов, сообществ в целом), приходящихся на единицу площади или объема.

Биотоп – относительно однородное по абиотическим факторам среды пространство, занятое биоценозом.

Биоценоз – исторически сложившаяся группировка организмов различных видов, обитающих в пределах того или другого биотопа.

Детрит – органический ил и остатки организмов в водоемах.

Зоопланктон (от греч. *zoon* – животное и *planctós* – блуждающий) – совокупность мелких животных организмов, находящихся во взвешенном состоянии в воде, свободноплавающих или свободнопарящих в ее толще, не способных сопротивляться течениям.

Полифаг – организм, питающийся разнообразными кормами.

Популяция – совокупность особей одного вида, населяющих определенное пространство с относительно однородными условиями обитания.

Стенобионт – организм, требующий строго определенных условий существования.

Таксон – любая систематическая категория организмов (вид, род, семейство и т. д.).

Убиквист – широко распространенный вид, живущий в самых разнообразных условиях среды.

Фактор абиотический – условие или совокупность условий неорганического мира, фактор неживой природы.

Цикломорфоз – сезонная смена поколений, каждое из которых имеет заметные морфологические особенности.

Эврибионт – организм, живущий в различных, порой резко различающихся условиях среды.

Эктопаразит – организм, паразитирующий на поверхности тела хозяина.

Эндемик – местный вид, обитающий только в данном регионе.

АЛЬГОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМОВ КАРЕЛИИ

Т. А. Чекрыжева

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

На территории Республики Карелия, которую часто называют озерным краем, расположено несколько десятков тысяч озер. Для них характерен специфический «карельский» тип поверхностных вод с низкой минерализацией (сумма ионов от 5 до 200 мг/л), высоким содержанием природных окрашенных органических соединений гумусовой природы (цветность воды от 5 до 300 град) и широкой вариабельностью рН – от 4,2 до 7,5 (Каталог озер и рек Карелии, 2001). Среди разнообразных карельских водоемов много чистых, не затронутых хозяйственной деятельностью, а также в разной степени подверженных антропогенному воздействию различного типа (хозяйственно-бытовое и техногенное загрязнение).

В альгофлоре карельских водоемов насчитывается свыше тысячи видов микроскопических пресноводных водорослей из разных систематических групп: диатомовые, зеленые, синезеленые, золотистые, эвгленовые, желтозеленые, криптофитовые, динофитовые (рис. 1). Высокое видовое (таксономическое) разнообразие планктонной альгофлоры карельских озер, определяемое, главным образом, многообразием экологических условий, формируется в основном за счет диатомовых и зеленых водорослей, составляющих соответственно около 50 и 30% от общего числа всех видов (Чекрыжева, 1990).

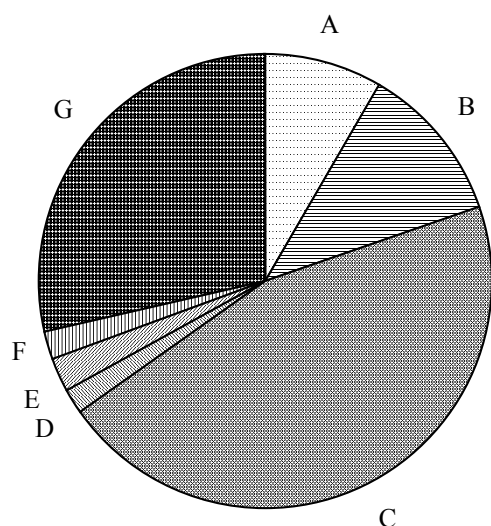


Рис. 1. ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ФИТОПЛАНКТОНА:

А – синезеленые (8,4%), В – золотистые (11,3%), С – диатомовые (45,5%), D – желтозеленые (1,8%), E – пирофитовые (2,4%), F – эвгленовые (2,0%), G – зеленые (28,6%) водоросли

В экосистемах северных холодноводных карельских озер диатомовые водоросли, как правило, определяют облик фитопланктона на протяжении всех этапов его сезонного развития. Наиболее значимыми являются виды рода аулакозира (*Aulacosira*), астерионелла (*Asterionella*), табеллярия (*Tabellaria*), фрагиллярия (*Fragilaria*), циклотелла (*Cyclotella*), диатома (*Diatoma*), навикула (*Navicula*), пиннулярия (*Pinnularia*), синедра (*Synedra*) и некоторые другие.

Из зеленых водорослей в озерном планктоне преобладают хлорококковые водоросли из родов сценедесмус (*Scenedesmus*), анкistroдесмус (*Ankistrodesmus*), педиаструм (*Pediastrum*), целаструм (*Coelastrum*), диктиосфериум (*Dictyosphaerium*), ооцистис (*Oocystis*), круцигения (*Crucigenia*), сфероцистис (*Sphaerocystis*). Из десмидиевых водорослей чаще встречаются виды из родов космариум (*Cosmarium*), стаураструм (*Staurastrum*), кластериум (*Closterium*), эуаструм (*Euastrum*). В мелководных хорошо прогреваемых летом озерах обильно развиваются вольвоксовые: вольвокс (*Volvox*), хламидомонас (*Chlamydomonas*), пандорина (*Pandorina*), эвдорина (*Eudorina*) и др.

Видовое разнообразие золотистых водорослей в карельских озерах формируется из родов динобрион (*Dinobryon*), синура (*Synura*), малломонас (*Mallomonas*), урогленописис (*Uroglenopsis*). Ранней весной подо льдом и сразу после очищения акватории водоемов от ледового покрова интенсивно размножаются нанопланктонные виды хризомонад из родов хромулина (*Chromulina*), хризоккоккус (*Chrysococcus*), стенокаликс (*Stenokalyx*), кефирион (*Kephyrion*), псевдокефирион (*Pseudokephyrion*). Большинство золотистых водорослей являются обитателями чистых вод, а в загрязняемых водоемах они менее разнообразны и обильны.

Во всех озерах присутствуют эвгленовые водоросли из родов эвглена (*Euglena*), трахеломонас (*Trachelomonas*), факус (*Phacus*) и др.

Из синезеленых чаще других встречаются виды родов микроцистис (*Microcystis*), анабена (*Anabaena*), афанизоменон (*Aphanizomenon*), глоеотрихия (*Gloeotrichia*), осциллятория (*Oscillatoria*).

Происхождение и природные условия карельских озер предопределили принадлежность большинства видов фитопланктонных водорослей к группе широко распространенных в водоемах всех климатических зон. Существенна также доля бореальных и арктоальпийских видов, что подчеркивает холодолюбивый характер альгофлоры наших озер (рис. 2).

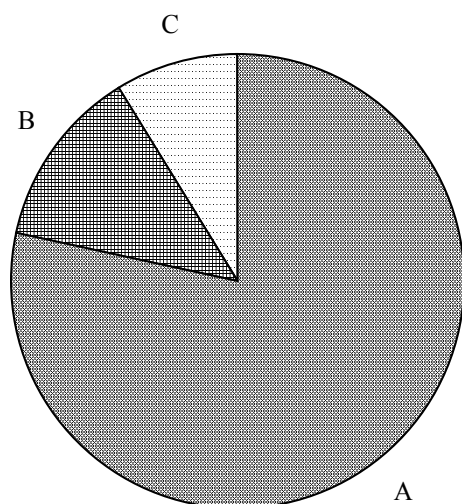


Рис. 2. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДОВ ФИТОПЛАНКТОНА:

А – широко распространенные (78,4%), В – boreальные (12,8%), С – арктоальпийские (8,8%) виды

Несмотря на то, что континентальные пресные водоемы имеют очень слабую соленость (0–5‰), в них встречаются водоросли, по-разному реагирующие на степень минерализации воды. Преимущественное развитие в пресных водоемах имеют виды, называемые олигогалолами. Их в свою очередь подразделяют на галофилов, предпочитающих незначительное повышение концентрации NaCl; галофобов, для которых губительны даже минимальные количества NaCl; и индифферентов, могущих обитать в солоноватой воде и максимально развиваться в пресной.

Таким образом, по отношению к этому параметру большинство видов водорослей в карельских озерах относят к олигогаламам, из которых преобладают индифференты (> 80%). Доля галофобов и галофилов значительно меньше (рис. 3). Из галофильных видов встречаются *Nitzschia sigma*, *Navicula radiosa*, *Navicula cryptocephala*, *Cocconeis pediculus*, *Synedra capitata*, *Rhopalodia gibba*. Некоторое увеличение числа видов водорослей из группы галофилов свидетельствует обычно об увеличении минерализации воды водоемов.

По отношению к кислотности водной среды фитопланктонные виды подразделяют на следующие группы: индифферентные, т. е. мало зависящие от уровня закисленности среды; алкалифильные – живущие в щелочных водах; ацидофильные – живущие в кислых водах, при низких значениях pH. Поэтому присутствие ацидофильных форм водорослей в водоеме свидетельствует о поступлении в него с территории водосбора болотных вод. Для большинства карельских водоемов характерно преобладание по отношению к кислотности водной среды видов-индифферентов (> 60%) при значительной доле ацидофильных форм, предпо-

читающих кислые, с низкими значениями pH, озера (рис. 4). Такими видами – показателями закисленности озера являются диатомеи из родов *Eunotia* и *Frustulia*.

В последние десятилетия уровень продуктивности ряда карельских озера существенно возрос за счет техногенного обогащения их вод биогенными элементами (главным образом, фосфора и азота в минеральной и органической формах). Антропогенное эвтрофирование озера проявляется в форме так называемого «цветения» озерной воды за счет интенсивного (обильного) развития одного или нескольких видов водорослей. Летнее «цветение» чаще всего вызывается синезелеными водорослями *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Gloeotrichia echinulata*, *Woronichinia naegeliana*, а также видами родов *Anabaena* и *Oscillatoria*. В последнее время в карельских

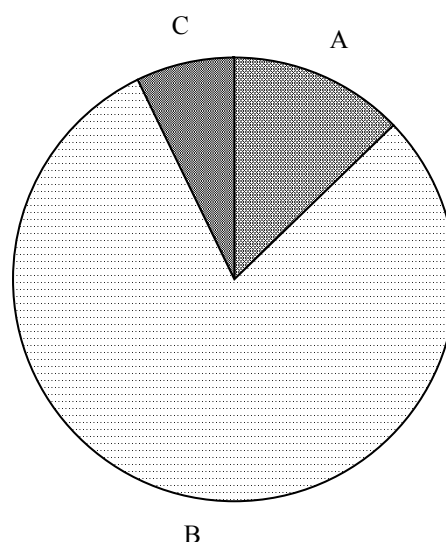


Рис. 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДОВ ФИТОПЛАНКТОНА ПО ОТНОШЕНИЮ К ГАЛОБНОСТИ:

Олигогалоламы: А – галофобы (12,8%), В – индифференты (80,0%), С – галофилы (7,2%)

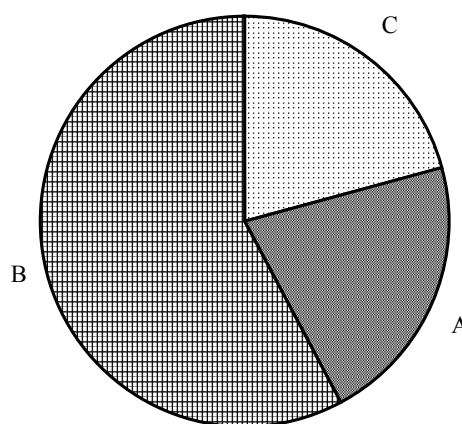


Рис. 4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДОВ ФИТОПЛАНКТОНА ПО ОТНОШЕНИЮ К pH:

А – ацидофильные (21,4%), В – индифферентные (57,8%), С – алкалифильные (20,8%)

озерах интенсивно «цветет» рафидофитовая водоросль *Gonyostomum semen*.

Биомасса водорослей в период «цветения» достигает значительных величин, особенно в локальных пятнах «цветения». В связи с этим в воду в больших количествах поступают продукты жизнедеятельности (экзометаболиты) водорослей, а также продукты разложения отмерших фитопланктонных клеток. Многие из этих веществ являются токсическими и даже патогенными для животных и людей. Вода приобретает неприятный запах и становится непригодной для питья, купания и использования в других целях.

В последнее время при экологическом мониторинге все шире используют метод альгоиндикации, т. е. оценки состояния водных экосистем по видовому составу растительного населения водоема, его экологическим характеристикам, уровню количественного развития и соотношению индикаторных или показательных видов, обитающих в чистых или загрязненных водах.

При отсутствии каких-либо специфических загрязнений основным фактором, определяющим качество воды в природных водоемах, является содержание в ней органического вещества, в зависимости от концентрации которого устанавливают степень загрязнения (сапробность) природных водоемов. Согласно системе сапробности выделяют зоны загрязнения: полисапробная (очень грязная), мезосапробная (переходная) и олигосапробная (чистая), для каждой из которых характерно присутствие определенных видов-индикаторов.

В полисапробной зоне, находящейся, как правило, вблизи от источника загрязнения, число видов водорослей сравнительно невелико, но численность их популяций высока. В мезосапробной зоне, которая подразделяется на две подзоны (α - и β -мезосапробные), загрязнение выражено слабее. Видовое разнообразие водорослей здесь больше, чем в предыдущей зоне, но численность и биомасса фитопланктонных популяций могут быть ниже. Для олигосапробной зоны характерно высокое видовое разнообразие водорослей, но численность и биомасса их могут быть незначительными.

По составу водорослей качество воды оценивают двумя способами, либо путем выявления индикаторных видов водорослей, либо по результатам сравнительного анализа видовой структуры фитопланктонных сообществ для акваторий с различной степенью загрязнения.

В первом случае для оценки степени сапробности вод определяют индикаторную значимость отдельных видов фитопланктона (Библиографический указатель..., 1974; Вассер и др., 1989) и их численность или биомассу. Затем на основе этих параметров рассчитывают индексы сапробности Пантле-Букка в модификации Сладечека (Методы биоиндикации и биотестирования природных вод, 1989; Унифицированные методы исследования качества вод,

1977). В комплексе с методом Пантле-Букка в модификации Сладечека применяют эколого-санитарную классификацию качества поверхностных вод суши (Оксиук, Жукинский, 1983; Руководство по методам..., 1983), позволяющую оценить качество вод на основе биомассы фитопланктона и индексов сапробности.

Большинство видов планктонных водорослей – индикаторов сапробности относится к олиго-, олиго- β и β -мезосапробным формам (рис. 5). Ксеносапробы, или водоросли, способные быть показателями очень чистых вод, – малочисленны. В основном это представители диатомовых, например *Achnanthes lanceolata*, *Ceratoneis arcus*, *Eunotia lunaris*, *Meridion circulare*. Также в фитопланктоне мало и видов, характеризующих β - α и α -сапробные условия. В то же время некоторые β -мезосапробные виды в полисапробной зоне, находящейся, как правило, вблизи от источника загрязнения, могут иметь значительные численности своих популяций и быть индикаторами загрязнения.

Во многих крупных озерах Карелии существуют обширные зоны, в разной степени загрязненные промышленными (прежде всего отходами целлюлозно-бумажного производства) и бытовыми стоками. Используя метод альгоиндикации, исследовались закономерности изменения сообществ фитопланктона по градиенту загрязнения в озерах Суоярви и в Кондопожской губе Онежского озера.

В различающихся по степени загрязнения районах озера Суоярви (северо-западном – условно чистом, южном – загрязненном промышленными и коммунальными стоками города, и промежуточном между двумя первыми) были выявлены существенные отличия (табл.) как в видовой структуре, так и в величинах численности и

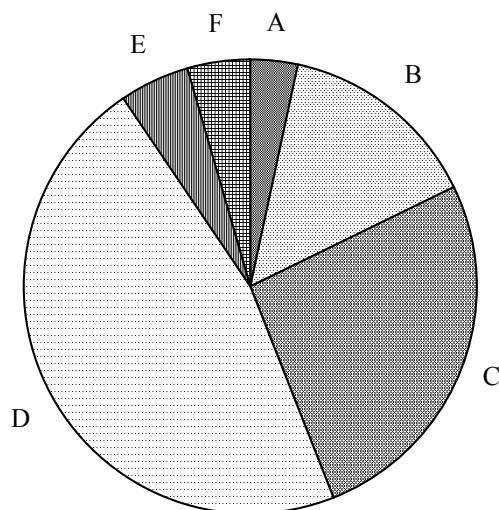


Рис. 5. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДИКАТОРНЫХ ВИДОВ ФИТОПЛАНКТОНА ПО ОТНОШЕНИЮ К САПРОБНОСТИ:

А – ксеноолигосапробы (3,4%), В – олигосапробы (14,4%), С – олиго- β -мезосапробы (26,2%), Д – β -мезосапробы (46,5%), Е – α - β -мезосапробы (5,0%), Ф – α -сапробы (4,5%)

биомассы фитопланктона (Чекрыжева, 1991).

Общее число обнаруженных таксонов планктонных водорослей сокращалось по мере загрязнения, причем в различных участках доминировали представители из разных систематических отделов фитопланктона. Так, в условно чистом районе преобладали диатомовые водоросли из числа α -мезосапробов. В загряз-

тому являются индикатором этого вида загрязнений. Численность видов-индикаторов органического загрязнения существенно возросла в водах, подверженных воздействию промышленных и коммунальных стоков города (рис. 6). О различной степени загрязненности изученных участков озера свидетельствуют и значения индекса сапробности, которые варьировали от 1,6 в чистом районе до 2,1 – в загрязненном. Это в целом характеризует воды озера как относительно чистые с умеренным содержанием органического вещества.

Была выполнена также альгоиндикация зон загрязнения акватории Кондопожской губы Онежского озера, до настоящего времени подверженной воздействию сточных вод от рассеивающего выпуска целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК). Наиболее высокие значения биомассы водорослей (криптофитовые родов *Chroomonas* и *Cryptomonas*, зеленые *Chlamydomonas monadina* и *Planctococcus sphaerocystiformis*, диатомовые *Nitzschia acicularis*), которые являются показателями бета-мезоса-

ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИТОПЛАНКТОНА РАЗЛИЧНЫХ ПО СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАЙОНОВ оз. СУОЯРВИ

Район озера	Число видов	Численность, %		Биомасса, %	
		Диатомовые	Криптофитовые	Диатомовые	Криптофитовые
Чистый	93	85	4,5	90	7
Промежуточный	65	64	17	57	36
Загрязненный	32	70	22	54	47

ненной зоне доминировали представители криптофитовых водорослей (β -мезосапробы), которые интенсивно вегетируют в водах, содержащих много органических веществ, и поз-

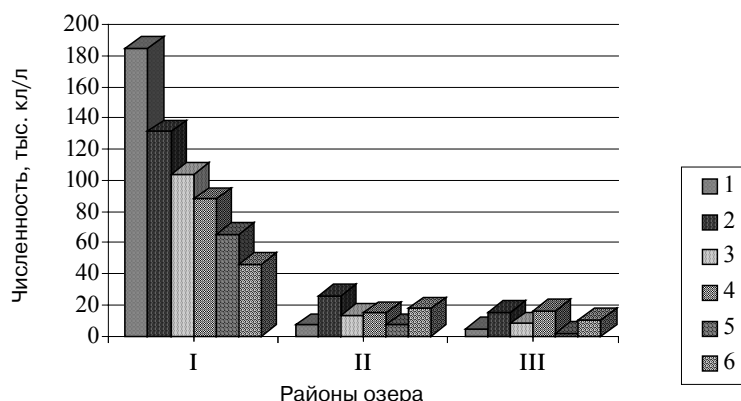


Рис. 6. ЧИСЛЕННОСТЬ ИНДИКАТОРНЫХ ВИДОВ ФИТОПЛАНКТОНА В РАЗЛИЧНЫХ ПО СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ РАЙОНАХ ОЗЕРА СУОЯРВИ:

I – загрязненный, II – промежуточный, III – чистый. 1 – *Cryptomonas obovata*, 2 – *C. marssonii*, 3 – *C. reflexa*, 4 – *C. ovata*, 5 – *Chroomonas acuta*, 6 – *C. breviciliata*

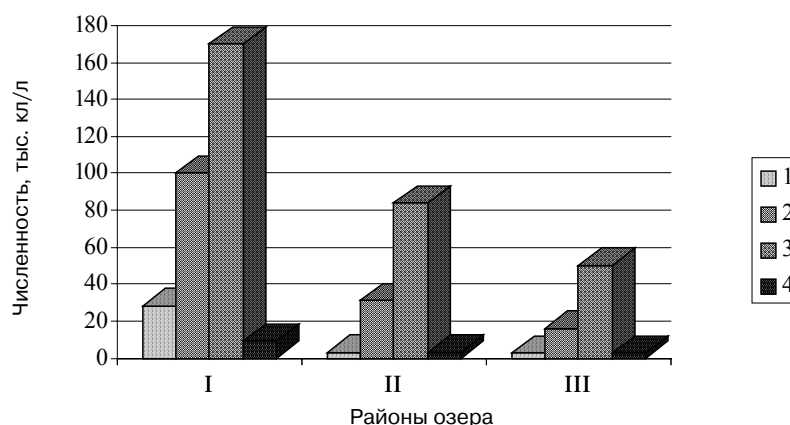


Рис. 7. ЧИСЛЕННОСТЬ ИНДИКАТОРНЫХ ВИДОВ ФИТОПЛАНКТОНА В РАЗЛИЧНЫХ ПО СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ РАЙОНАХ КОНДОПОЖСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА:

I – вершинная часть, II – центральная часть, III – открытый плес. 1 – виды родов *Cryptomonas* и *Chroomonas*, 2 – *Chlamydomonas monadina*, 3 – *Planctococcus sphaerocystiformis*, 4 – *Nitzschia acicularis*

пробных условий (по уровню загрязненности вод), отмечены по ходу распространения в губе сточных вод ЦБК (рис. 7). Оценка качества водной среды в Кондопожской губе с использованием индикаторных организмов (индекс сапробности 1,5–2,0) показала, что ее воды относятся к классу вод удовлетворительной чистоты.

В заключение отметим, что планктонные водоросли, обладая высокой чувствительностью к изменению условий окружающей водной среды и являясь поэтому индикаторами состояния водоемов, могут широко использоваться при оценке качества поверхностных вод в системе экологического мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

Библиографический указатель по теме «Биологический указатель качества вод» с приложением списка организмов-индикаторов загрязнения. Л., 1974. 53 с.

Вассер С. П., Кондратьева Н. В., Масюк Н. П. и др. Водоросли. Справочник. Киев, 1989. 608 с.

Каталог озер и рек Карелии. Петрозаводск, 2001. 290 с.

Методы биоиндикации и биотестирования природных вод. Л., 1989. Вып. 2. 276 с.

Оксиюк О. П., Жукин В. Н. Методические приемы использования эколого-санитарной классификации поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1983. Т. 19. № 5. С. 63–67.

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. В. А. Абакумова. Л., 1983. 50 с.

Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. III. Методы биологического анализа вод. Атлас сапробных организмов. М., 1977. 227 с.

Чекрыжева Т. А. Видовой состав фитопланктона некоторых озер и рек Карелии. Петрозаводск, 1990. 39 с.

Чекрыжева Т. А. Фитопланктон // Поверхностные воды озерно-речной системы Шуи в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск, 1991. С. 122–126.

СЛОВАРЬ используемых терминов

Акватория – водное пространство, ограниченное естественными или искусственными границами.

Альгология – наука о водорослях.

Индексы сапробности – индексы, оценивающие степень насыщенности воды разлагающимися органическими веществами. Устанавливаются по видовому составу организмов-сапробионтов в водных сообществах.

Минерализация водоемов – концентрация солей в воде.

Первичная продукция – продукция автотрофных организмов, в основном зеленых растений, а также хемосинтезирующих бактерий.

Популяция – совокупность особей одного вида с общим генофондом, в течение большого числа поколений населяющих определенное пространство с относительно однородными условиями обитания.

Продуценты – организмы-автотрофы, производящие органические вещества из неорганических составляющих.

Сапробность водоема – характеристика степени загрязненности водоема по видовому составу и массе гидробионтов; различают полисапробные (наиболее загрязненные), α - и β -мезосапробные, и олигосапробные (наименее загрязненные) водоемы.

Таксон – любая систематическая категория (вид, род, семейство и т. д.).

Условия среды (обитания) – совокупность экологических факторов, от космических до непосредственного влияния окружающей среды (в том числе особей своего вида и человека) на отдельный индивид (популяцию или сообщество).

Фитопланктон – совокупность «парящих» в толще воды микроскопических водорослей.

Цветность воды – количество гумусовых веществ (органического вещества), образующихся за счет разложения растительных и животных остатков.

Эвтрофикация, эвтрофирование, эвтрофия вод – накопление в водных объектах биогенных элементов под воздействием антропогенных или природных факторов, приводящее к повышению биологической продуктивности водоемов и последующей нехватке кислорода.

Экология – наука, изучающая отношения организма (особи, популяции, биоценоза) и окружающей среды.

Экосистема (экологическая система) – единый природный или природно-антропогенный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания, в котором живые и косные экологические компоненты связаны между собой причинно-следственными связями, обменом веществ и распределением потока энергии.

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ





РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ ПО ОРГАНИЗМАМ МАКРОЗООБЕНТОСА

Т. Н. Полякова

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Охрана водных ресурсов от загрязнения в условиях возрастающей антропогенной нагрузки предполагает наряду с изучением механизмов функционирования экосистем и прогнозированием возможных изменений в них необходимость систематического гидробиологического контроля (биомониторинга) за состоянием и качеством природных вод. Под влиянием антропогенной нагрузки нарушаются структура и качественный состав биоценозов. Загрязняющие вещества накапливаются преимущественно в грунтах и в макрофитах, в связи с этим их влияние на биоту может быть длительным и постоянным.

Гидробионты, как индикаторы условий обитания, представляют особый интерес для установления фонового состояния водных экосистем и их последующих изменений при антропогенном воздействии. Комплексное изучение экосистем водоемов и водотоков предполагает организацию наблюдений по весьма обширной программе и требует высокой квалификации специалистов. Но некоторые простейшие исследования вполне доступны учащимся. В зависимости от поставленных целей наблюдения могут носить рекогносцировочный характер и вместе с тем стать основой для долговременного контроля экологического состояния выбранного объекта.

Определение качества воды только по химическим показателям не позволяет выявить изменения в водной экосистеме и оценить степень ее нарушенности. Данные же о видовом составе и количественном развитии водных организмов позволяют судить не только о степени и продолжительности загрязнения водоема, но и о его способности к самоочищению. Конечно, с помощью методов биоиндикации мы можем оценить только общий уровень загрязненности и не узнаем точных концентраций того или иного вещества. Зато эти методы относительно дешевы и не требуют специального оборудования. А главное, биологические методы дают комплексную оценку качества воды, учитывают взаимодействие разных загрязняющих веществ.

Биологический метод оценки качества вод (биоиндикация) базируется на изучении всей совокупности организмов, населяющих водоем. Этот способ наблюдений основан на том, что живые организмы обладают различной чувствительностью к качеству воды, поэтому по разнообразию живущих в водоеме организмов можно судить о его состоянии и степени за-

грязненности. Любая форма загрязнения отрицательно сказывается на флоре и фауне, нарушает структуру биоты, обедняет видовой состав, вызывает гибель одних – стенобионтов и оксифилов и, напротив, усиленное размножение других – эврибионтов.

Наиболее характерный тип загрязнения природных водоемов – сброс в них больших масс разлагающихся органических веществ и биогенных элементов. Такое загрязнение приводит, в первую очередь, к заилению дна, увеличению кормовой базы детритоядных животных и микроорганизмов, снижению количества растворенного в воде кислорода. Именно эти факторы непосредственно изменяют состав сообщества. Общая картина загрязнения водоемов довольно сложна, но показано, что виды, более устойчивые к органическому загрязнению, в целом более устойчивы и к остальным типам загрязнений.

Важнейшей комплексной характеристикой состояния водоема является его сапробность. **Сапробность** (от греческого слова «сапрос» – гнилой) – характеристика водоема, показывающая уровень содержания в нем органических веществ (ОВ) и продуктов их распада. Система сапробности, разработанная в начале прошлого века немецкими исследователями Р. Колквитцем и М. Марссоном, учитывает отношение гидробионтов к органическому, нетоксическому загрязнению. Под сапробностью какого-либо вида животных или растений понимают его способность обитать в воде с тем или иным содержанием органических веществ. По нарастанию количества ОВ различают водоемы **олигосапробные** (практически незагрязненные), **бета-мезосапробные** (слабо или умеренно загрязненные), **альфа-мезосапробные** (загрязненные) и **полисапробные** – сильно загрязненные организмы. В каждой из этих зон возможно интенсивное развитие определенных видов растительных и животных организмов, достигающих высокой численности. Они получили название индикаторов сапробности.

Известно много систем биологического анализа вод и определения их качества по гидробиологическим показателям, выбор которых зависит от условий работы и ближайших целей исследователя (Макрушин, 1974). Оценка степени загрязнения водоемов по показательным организмам, так называемый сапробиологический анализ, обычно производится с помощью системы Колквитца-Марссона или различных

ее модификаций. Суть их заключается в выявлении индикаторов для оценки степени сапробности (загрязнения) вод. В основе другой группы лежит учет видового разнообразия гидробионтов водоема или его участка.

Каждая экологическая группа организмов, как животных (зоопланктон, зообентос и др.), так и растительных (фитопланктон, фитобентос, макрофиты) в качестве биологического индикатора имеет свои преимущества и недостатки. Наиболее удобным для неспециалиста объектом является, на наш взгляд, макрозообентос – макроскопические беспозвоночные животные, обитающие на дне водоема, в толще донных осадков или в придонном слое воды. Это, главным образом, водные личинки и имаго насекомых, моллюски, пиявки, малощетинковые черви и высшие ракообразные. Организмы зообентоса характеризуются достаточно крупными размерами, широким экологическим спектром, т. е. способностью обитать в самых разных условиях, приуроченностью к определенному местообитанию и продолжительностью жизненных циклов. Донные животные, таким образом, благодаря особенностям их экологии надежно характеризуют изменения водной среды за длительные периоды времени.

Применение любой системы биоиндикации предполагает определение таксономической принадлежности найденных организмов. Необходимо отметить, что систематика беспозвоночных (даже макроформ) весьма сложна, и достоверное определение их до вида неспециалистами, как правило, невозможно. Отчасти поэтому разработано несколько методик анализа качества воды, применяющих индикаторные свойства крупных таксонов зообентоса: родов, семейств, отрядов. Некоторые из них в настоящее время широко рекомендуются для школьного экологического мониторинга (Биологические методы, 2002; Глаголев и др., 1999; Данилова и др., 1999).

Одна из них разработана Ф. Вудивиссом (Вудивисс, 1977) для небольшой реки Трент (Великобритания) и с успехом применяется в Западной Европе и России. Эта система оценки качества воды, которую называют биотичес-

ким индексом Вудивисса (Индекс реки Трент), объединяет как общее разнообразие, так и наличие индикаторных «групп» донных организмов. При повышении степени загрязненности водоема представители этих групп исчезают из него примерно в том порядке, в каком они приведены в табл. 1.

Метод Вудивисса предполагает сбор только качественных проб, без учета обилия животных, и допускает определение животных до уровня отрядов и семейств. Под термином «группа», используемым для определения биотического индекса, подразумевается систематическое положение водных животных, которое определяется без анализа деталей их строения, что исключает необходимость проведения трудоемких таксономических исследований.

Понятие «группа» включает отдельные виды или более крупные таксоны: планарии (считать отдельно каждый вид), класс олигохет (малощетинковых червей); любой вид пиявок (*Hirudinea*), моллюсков (*Mollusca*), ракообразных; все известные виды веснянок (*Plecoptera*), поденок (*Ephemeroptera*), исключая *Baetis rhodani*; любое семейство ручейников (*Trichoptera*); любой вид личинок *Megaloptera* (вислокрылка); семейство *Chironomidae* (личинки звонцов), кроме *Chironomus sp.*; личинки мотыля (красные); личинки мошек (*Simuliidae*); все известные виды других личинок мух; все известные виды *Coleoptera* (жуки и их личинки); все известные виды водяных клещей (*Hydracarina*); каждый известный вид *Hemiptera*, каждый известный вид личинок других летающих насекомых. Кроме того, отдельными группами Вудивисс предложил считать олигохету *Nais*, поденку *Baetis rhodani* и хирономиду *Chironomus thummi*, однако определить эти таксоны для неспециалиста сложно, и часто этого не делают.

Опыт применения метода Вудивисса в условиях Карелии вызвал необходимость его модификации с учетом некоторых региональных особенностей фауны. Так, в составе зообентоса большинства обследованных рек редко или вообще не встречается индикаторная или, согласно

Таблица 1
БИОТИЧЕСКИЙ ИНДЕКС ВУДИВИССА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ

Наличие индикаторных групп	Всего найдено «групп»				
	0–1	2–5	6–10	11–15	16 и более
Веснянки > 1 вида	–	7	8	9	10
1 вид	–	6	7	8	9
Поденки > 1 вида	–	6	7	8	9
1 вид	–	5	6	7	8
Ручейники > 1 вида	–	5	6	7	8
1 вид	4	4	5	6	7
Бокоплав (личинки мошек)	3	4	5	6	7
Водяной ослик	2	3	4	5	6
Олигохеты и (или) личинки хирономид (комаров-звонцов)	1	2	3	4	–
Отсутствуют все названные группы, виды с воздушным дыханием (крыска)	0	1	2	–	–

Вудивиссу, «ключевая» группа организмов – бокоплавы. Она заменена в таблице на *Simuliidae* (личинки мошек), которые широко представлены в водотоках во все сезоны года и аналогично последним реагируют на загрязнение (Кухарев, 1986).

Общее число «групп» Вудивисса потенциально довольно велико за счет большого числа видов планарий и семейств ручейников. При невозможности определения семейств ручейников и видов планарий следует считать отдельно каждую их новую форму – планарий разных цветов и ручейников с разными типами домиков (Чертопруд, 1999).

Метод и индекс Вудивисса предназначен для рек, однако применяется для оценки сапробности практически самых разных водоемов, для которых не разработано более адекватных показателей (Чертопруд, 1999). В стоячих водоемах его используют в прибрежной зоне, где донная фауна наиболее разнообразна. С увеличением глубин происходит ее естественное обеднение, и оценка качества воды при помощи биотического индекса приводит к искаженным результатам. Следует учитывать, что в стоячих водоемах значение индекса ниже, чем в текущих, а на мягких грунтах (иле, песке) в том же водоеме намного ниже, чем на камнях, корягах и макрофитах.

Более просто определить качество воды можно с помощью индекса Майера (Заика, Молчанова, 2001). В этой методике, пригодной для любых типов водоемов, используется приуроченность различных групп водных беспозвоночных к определенным уровням загрязненности. Организмы-индикаторы отнесены к одному из трех разделов: X – обитатели чистой воды, Y – организмы средней чувствительности, Z – обитатели загрязненных водоемов (табл. 2).

Количество обнаруженных в пробе групп из первого раздела таблицы необходимо **умножить на три**, количество групп из второго раздела – на два, а из третьего – **на один**. Получившиеся цифры складывают. Значение суммы и характеризует степень загрязненности водоема:

$$X \cdot 3 + Y \cdot 2 + Z \cdot 1 = S.$$

По значению суммы S (в баллах) оценивают степень загрязненности водоема:

- более 22 баллов – водоем чистый и имеет 1 класс качества;

- 17–21 балл – 2 класс качества;
- 11–16 баллов – умеренная загрязненность водоема, 3 класс качества (β-мезосапробный);
- менее 11 – водоем грязный, 4–7 класс качества (α-мезосапробный или же полисапробный).

Определение качества воды на выбранном объекте предполагает прежде всего возможно более полное знакомство с составом донных организмов, обитающих в данном водоеме. Наблюдения целесообразно проводить в летне-осенний период – к моменту наступления биологического лета и максимального прогрева водных масс. Наиболее показательны данные, полученные в августе–сентябре, когда в донных ценозах представлено большинство видов. Для получения достоверных данных об обитателях не крупного водоема необходимо взять не менее пяти проб. При исследовании реки или крупного озера (особенно если скорость течения, количество водной растительности, характер грунта и другие характеристики водоема сильно различаются в разных его частях) количество проб надо увеличить до 7–8. При работе на реке нужно стараться (если это возможно) отбирать пробы у обоих берегов и на середине.

Работу на водоеме необходимо начинать с его описания. В такое описание, как минимум, входят: название водоема и его местонахождение, размеры, глубины и прозрачность воды. Для реки можно с помощью карты определить протяженность и площадь ее бассейна. Важным показателем является также скорость течения. Следует указать степень антропогенного воздействия на прибрежную зону: пляжи, строения, промышленные предприятия, дороги, свалки, фермы и т. д.

Сбор материала обычно проводят на относительно чистых, не подвергающихся непосредственному антропогенному воздействию (например, выше населенного пункта) участках; в зоне интенсивного антропогенного воздействия (вблизи промышленных предприятий, в черте города, населенного пункта); на некотором удалении от загрязненного участка, в переходной (мезосапробной) зоне, где интенсивно протекают процессы самоочищения (ниже населенного пункта, в устьевых участках рек и т. д.).

На каждом из этих участков точки отбора проб (станции) выбираются с таким расчетом,

Таблица 2
ИНДЕКС МАЙЕРА

Обитатели чистых вод, X	Организмы средней степени чувствительности, Y	Обитатели загрязненных водоемов, Z
Нимфы веснянок	Бокоплав	Личинки комаров-звонцов
Нимфы поденок	Речной рак	Пиявки
Личинки ручейников	Личинки стрекоз	Водяной ослик
Личинки вислокрылок	Личинки комаров-долгоножек	Прудовики
Двустворчатые моллюски	Моллюски-катушки	Личинки мошки
	Моллюски-живородки	Малощетинковые черви

чтобы охватить все основные биотопы – каменистые, песчаные, илистые грунты, заросли макрофитов. Только в этом случае можно получить достаточные сведения о фауне дна.

В качестве орудия для отбора проб можно использовать гидробиологический сачок. С его помощью облавливают придонные слои воды и берут пробы грунта. На илистом дне следует зачерпнуть сачком небольшое количество грунта и промыть его; остаток осторожно перенести в какую-либо емкость, удобнее в широкогорлую банку с крышкой. В некоторых руководствах для отбора грунтов с небольших глубин рекомендуется использовать большую консервную банку с диаметром дна не менее 10–15 см (Заика, Молчанова, 2001). С одной ее стороны крышка полностью удаляется, а оставшиеся острые края оббиваются молотком. С противоположной стороны в дне банки делается одно или несколько маленьких отверстий для слива воды. Такую банку вкручивают днищем вверх в мягкий донный грунт, а потом переворачивают и вынимают вместе с грунтом, который перекалывается в сачок или сито и промывается.

Фауну каменистых грунтов учитывают, смывая животных с камней или же собирая их пинцетом, а для снятия таких нежных организмов, как планарии, гидры используют акварельные кисточки.

Песчаный грунт подвергается отмучиванию. Зачерпнутый песок перекалывают в ведро с водой и энергично перемешивают круговыми движениями. Воду, по возможности, быстро сливают в сачок. Процесс повторяется несколько раз, до тех пор, пока вода после взмучивания не будет оставаться прозрачной.

Фауну зарослей макрофитов собирают сачком среди растений, а обитателей грунта – промывая корни в ведре или сачке. Остаток пробы после взмучивания песка и после промывания растений также переносят в склянки, снабженные этикетками.

Обязательно поищите животных на растениях, камнях и корягах, поднятых со дна. При подъеме донных предметов лучше прямо под водой положить их в сетку сачка, иначе многие животные могут быть утеряны.

Следует помнить также о том, что при длительной экскурсии, особенно в жаркую погоду, нельзя в одну банку сажать много животных, так как часть их погибнет от недостатка кислорода. Нельзя в одну банку помещать хищников (личинок плавунцов, стрекоз) с мелкими беззащитными животными, которые обязательно будут съедены еще до окончания экскурсии.

На каждой станции в дневнике делается запись с характеристикой места отбора пробы: водоем, станция, проба, глубина, прозрачность, грунт, $t^{\circ}\text{C}$ воздуха, $t^{\circ}\text{C}$ воды, дата. Ото-

бранный материал разбирают в живом виде, так как на его разборку в фиксированном состоянии тратится больше времени. Если это невозможно, то пробы фиксируют и доставляют в лабораторию. Промытый остаток небольшими порциями помещают в белую кювету, добавляя воду и просматривают. Животных аккуратно вынимают пинцетом и сажают в небольшие емкости с водой (например, в чистые баночки из-под лекарств или чашки Петри). Все организмы, обнаруженные в пробе, разбирают под биноклем с небольшим увеличением по систематическим группам (олигохеты, моллюски, ракообразные, личинки хирономид и т. д.). Так их будет легче сосчитать и не потерять что-нибудь из улова. В каждой группе определяется число видов, которое можно установить без анализа деталей строения животных, используя простейшие определители, например, «Краткий определитель пресноводной фауны» (Хейсин, 1962), «Краткий определитель беспозвоночных пресных вод центра Европейской России» (Чертопруд, Чертопруд, 2003). Результаты обработки собранных материалов заносятся в журнал.

Оставшийся живой материал обычно возвращается в водоем. Однако если поместить организмы в аквариумы, можно сделать много очень интересных наблюдений за жизнью и поведением водных животных. Среди многочисленных и разнообразных обитателей дна в качестве объектов для изучения могут быть использованы личинки водных насекомых (ручейники, поденки, стрекозы, хирономиды), ракообразные, моллюски, олигохеты. Эти организмы широко распространены в прибрежной зоне водоемов, их легко собрать в достаточном количестве и, наконец, они поддаются культивированию в лабораторных условиях.

После того как будут разобраны пробы и сделаны подсчеты видов и групп животных, можно приступать к определению индексов. Для того чтобы оценить состояние водоема по методу Вудивисса, нужно прежде всего выяснить, какие индикаторные группы имеются в исследуемом водоеме. Двигаясь сверху вниз по первой графе табл. 1, находят позицию, в которой указана присутствующая в пробе индикаторная («ключевая») группа. Если в водоеме имеются, например, личинки веснянок (*Plecoptera*), то следующим шагом будет определение количества видов веснянок, найденных в пробе. Если найдено несколько видов веснянок, то дальнейшая работа ведется по первой строке таблицы, и по второй – если найден только один вид.

При отсутствии личинок веснянок в пробах ищут личинок поденок (*Ephemeroptera*). Если они найдены, то, в зависимости от количества найденных видов, мы будем работать с третьей или четвертой строкой. Если личинок поденок нет – надо обратить внимание на наличие личинок ручейников (*Trichoptera*) и т. д.

Подсчитав количество обнаруженных в пробе «групп» из прилагаемого списка, находим соответствующий столбец табл. 1 и определяем биотический индекс.

Пример. В пробе обнаружены: веснянки – 1 вид; поденки – 2 вида; гидракарини – 2 вида; пиявки – 1 вид; бокоплав – 1 вид; моллюски – 3 вида (двустворчатые, катушки, прудовики); жуки – 2 вида; личинки жуков – 1 вид; личинки комаров-звонцов (хируномиды); олигохеты. В табл. 1 находим позицию в первой графе «присутствуют нимфы веснянок». В пробе только один вид из этой группы, значит, дальнейшая работа будет проводиться по второй строке таблицы. Всего обнаружено 15 «групп» (считая веснянку), следовательно, мы останавливаемся в столбце с общим числом «групп» 11–15. На пересечении второй строки и столбца «11–15», находим биотический индекс – 8, величина которого указывает на олигосапробные условия.

Проанализируем эту же пробу по методу Майера. Из обнаруженных организмов три группы (веснянки, поденки, двустворчатые моллюски) указаны **в первом** (X) разделе таблицы, две (бокоплав и катушки) – **во втором** (Y) и четыре (пиявки, личинки комаров-звонцов, малощетинковые черви, прудовики) – **в третьем** (Z). Гидракарини (водяные клещи), жуки и личинки жуков в таблице отсутствуют, поэтому при подсчете индекса они не учитываются. Индекс равен: $S = X \cdot 3 + Y \cdot 2 + Z \cdot 1 = 3 \cdot 3 + 2 \cdot 2 + 4 \cdot 1 = 9 + 4 + 4 = 17$, что соответствует (по табл. 3) второму классу качества воды (чистая, олигосапробная).

Данные о качестве воды, полученные при помощи биологических методов, можно соотносить с официально принятыми показателями: классами качества воды (ККВ) и уровнями сапробности (табл. 3).

В таблицах 4–16 показаны рисунки наиболее распространенных донных животных – обитателей малых водоемов и водотоков (Жадин, 1952; Определитель..., 1977; Чертопруд, Чертопруд, 2003; Хейсин, 1962; Яшнов, 1969).

В заключение отметим, что приведенные индексы позволяют быстро оценивать степень загрязнения малых водоемов и водотоков, не требуя больших материальных затрат и высокой квалификации исполнителей. Конечно, точность их невысока и полученные результаты следует считать предварительными. Тем не менее, если проводить исследования регулярно в течение какого-то времени и сравнивать полученные сведения, то даже с использованием этих простых методов можно уловить изменения в состоянии водоема.

Немаловажным является и то обстоятельство, что в процессе выполнения работы учащиеся имеют возможность приобрести конкретные знания не только о многообразии жизни в водоеме, но и о сложном взаимодействии сообществ с факторами окружающей среды и неоднозначности их реакций на воздействие извне.

Более подробные рекомендации по организации наблюдений на водоемах в рамках проведения школьного экологического мониторинга можно найти как в печатных изданиях (см. список), так и на некоторых сайтах в Интернете. Рекомендуем ознакомиться с публикациями заведующего лабораторией «Эфа» отдела биологии Санкт-Петербургского городского Дворца творчества юных Артура Рэмовича Ляндзберга и руководителя кружка водной экологии на кафедре гидробиологии биологического факультета МГУ Михаила Витальевича Чертопруда на сайтах www.fadr.msu.ru/ecocoop и www.rheos.org.ru.

Таблица 3
КЛАССИФИКАЦИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ЗООБЕНТОСА

Степень сапробности	Состояние водоема	ККВ	Биотический индекс	Индекс Майера
Ксеносапробная	Очень чистое	I-	> 10	> 22
Олигосапробная	Чистое	II	8–10	17–21
β-мезосапробная	Умеренно загрязненное	III	6–7	11–16
α-мезосапробная	Загрязненное	IV	3–5	< 11
β-полисапробная	Грязное	V	0–2	< 11
α-полисапробная	Очень грязное	VI	0	< 11

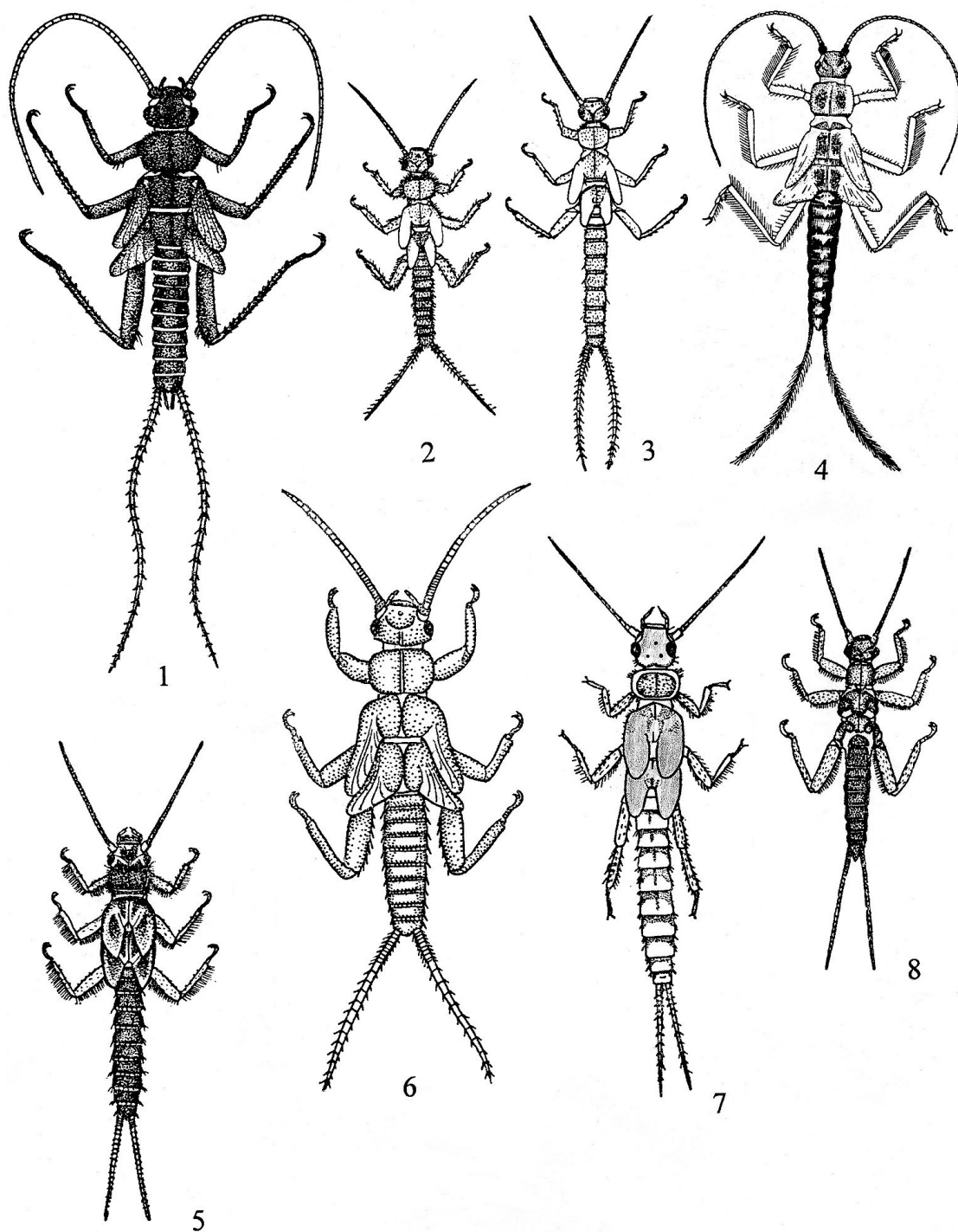


Таблица 4. ЛИЧИНКИ ВЕСНЯНОК

1 – *Nemurella pictetii*, 2 – *Leuctra nigra*, 3 – *L. hippopus*, 4 – *Nephelopteryx nebulosa*, 5 – *Chloroperla burmeisteri*,
6 – *Nemoura* sp., 7 – *Chloroperla apicalis*, 8 – *Capnia bifrons*

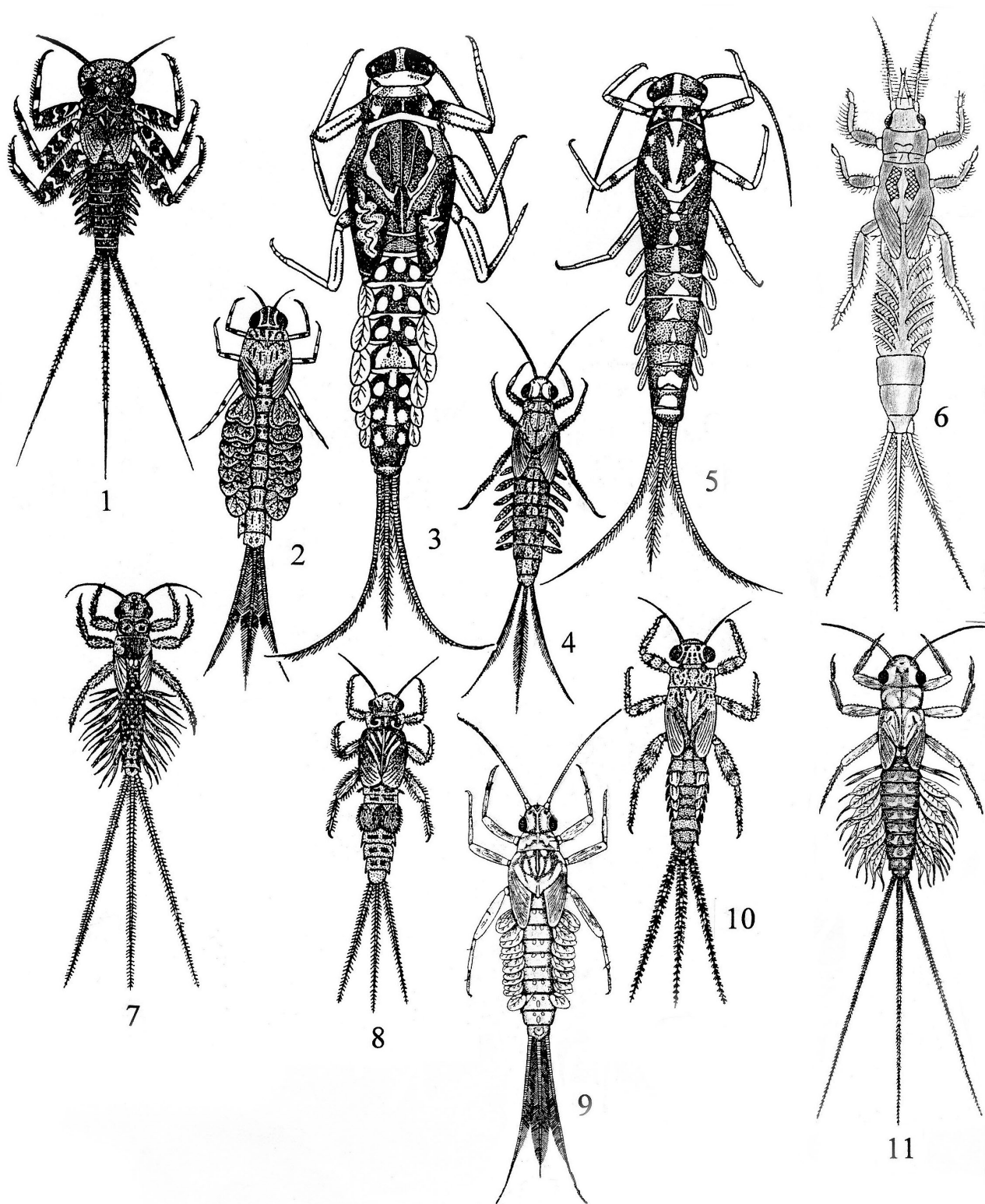


Таблица 5. ЛИЧИНКИ ПОДЕНОК

1 – *Heptagenia sulfurea*, 2 – *Siphonurus linneatus*, 3 – *Baetis rhodani*, 4 – *Centroptilum luteolum*, 5 – *Nigrobaetis niger*,
 6 – *Ephemera* sp., 7 – *Paraleptophlebia submarginata*, 8 – *Caenis macrura*, 9 – *Cloeon dipterum*, 10 – *Ephemerella ignita*,
 11 – *Leptophlebia vespertina*

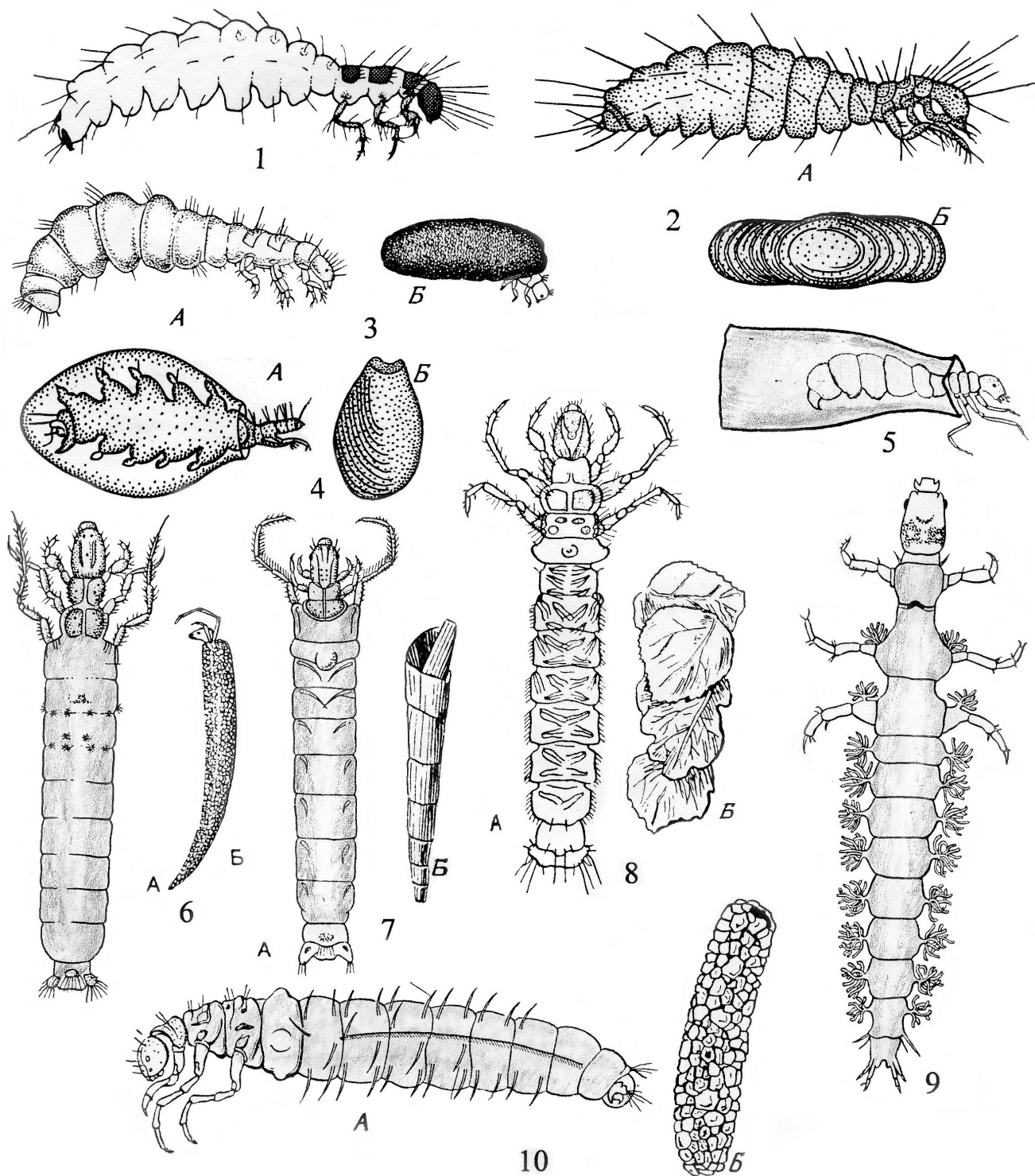


Таблица 6. ЛИЧИНКИ РУЧЕЙНИКОВ

1 – типичная личинка сем. *Hydroptilidae*, 2 – *Agraylea multipunctata*, 3 – *Hydroptila* sp., 4 – *Ithytrichia lammellaris*, 5 – *Oxyethira* sp., 6 – *Leptocerus* sp., 7 – *Triaenodes* sp., 8 – *Glyphotaelius* sp., 9 – *Rhyacophila* sp., 10 – *Stenophylax* sp.
А – личинки, Б – чехлики

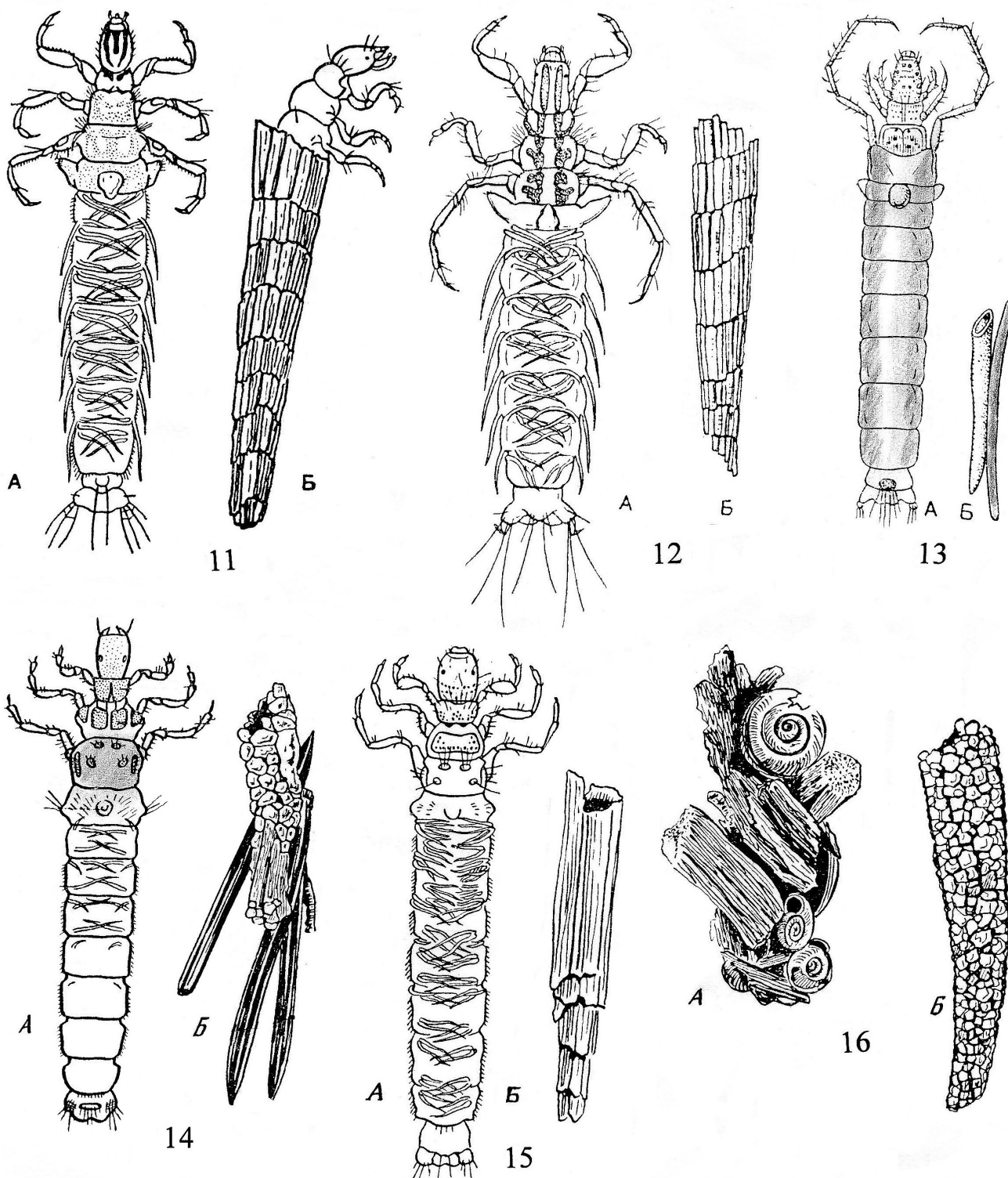


Таблица 6 (продолжение). ЛИЧИНКИ РУЧЕЙНИКОВ

11 – *Phryganea* sp., 12 – *Neuronia* sp., 13 – *Mystacides* sp., 14 – *Chaetopteryx* sp., 15 – *Grammotaulius* sp.,
(А – личинки, Б – чехлики), 16 – чехлики ручейников (А – *Limnephilus rhombicus*, Б – *L. vittatus*)

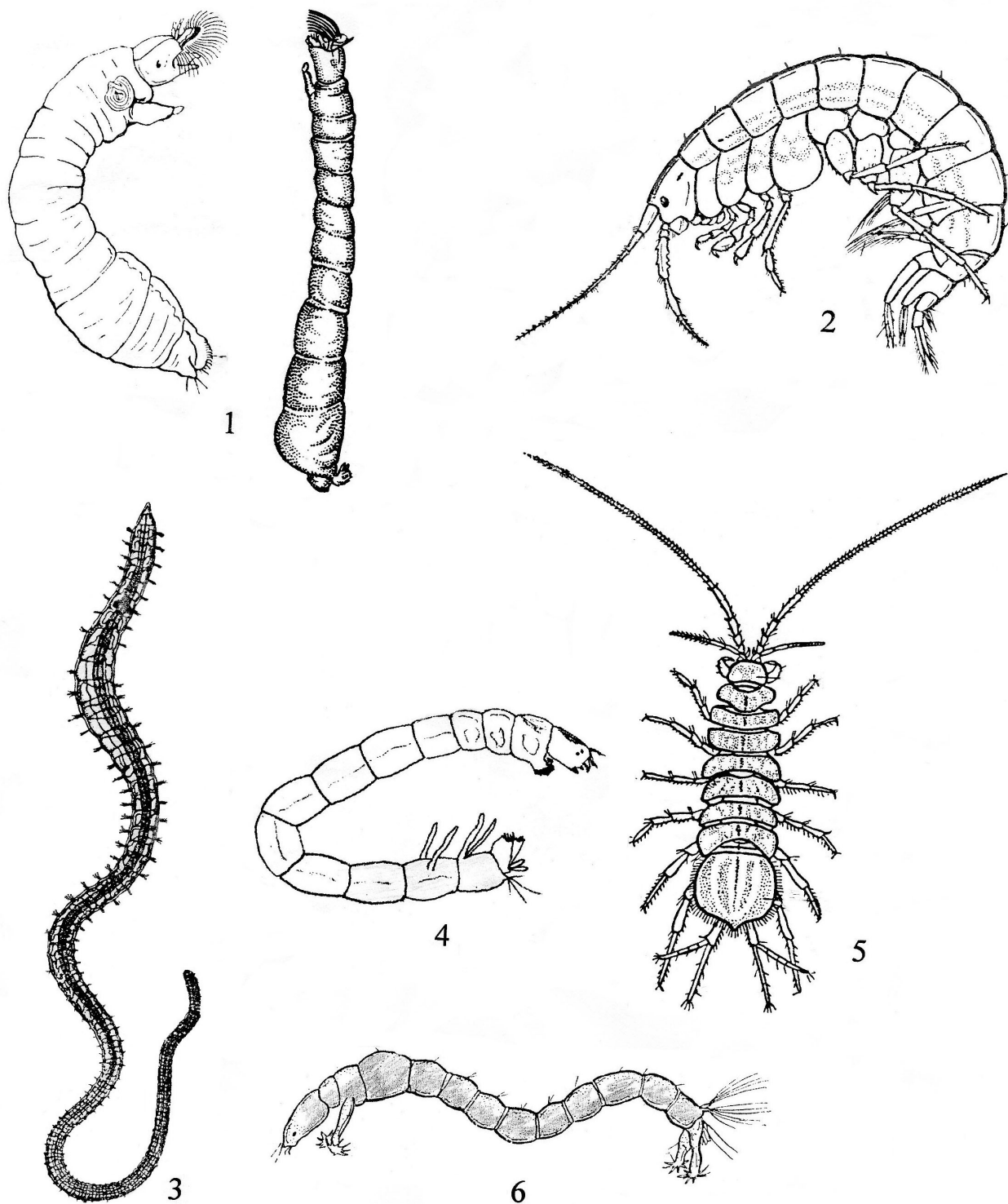


Таблица 7

1 – личинки мошек (*Simuliidae*), 2 – бокоплав (*Gammarus*), 3 – общий вид малощетинкового червя *Tubifex* (*Oligochaeta*), 4 – мотыль (*Chironomus*), 5 – водяной ослик (*Asellus aquaticus*), 6 – личинка комара-звонца (*Chironomidae*)

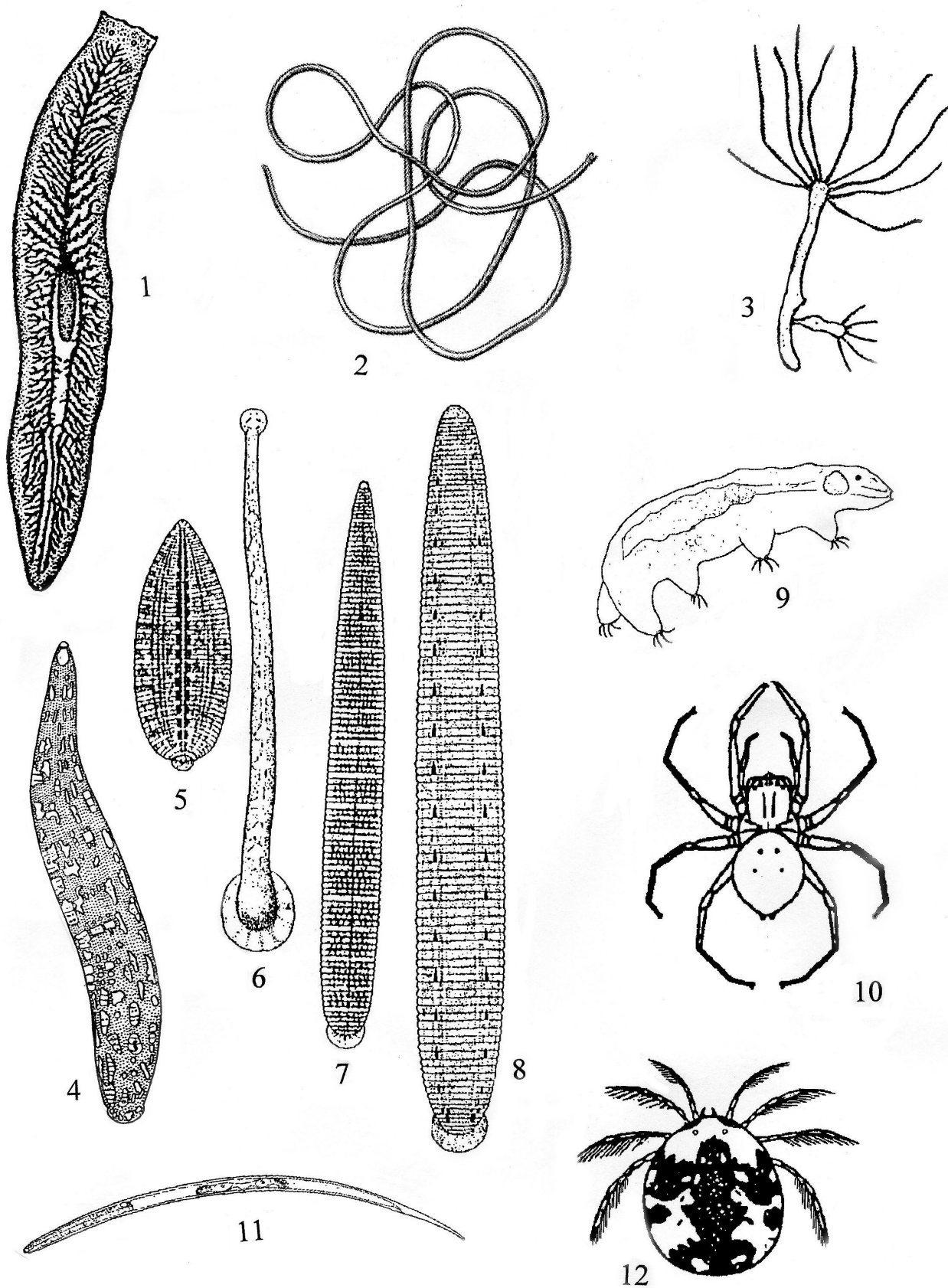


Таблица 8

1 – ресничные черви (планария), 2 – волосатики, 3 – гидра (*Hydra*). Пиявки: 4 – *Protoclepsis maculosa*, 5 – *Glossiphonia* sp., 6 – *Piscicola geometra*, 7 – *Erpobdella* sp., 8 – *Haemopis* sp., 9 – тихходки, 10 – пауки, 11 – нематоды, 12 – клещи

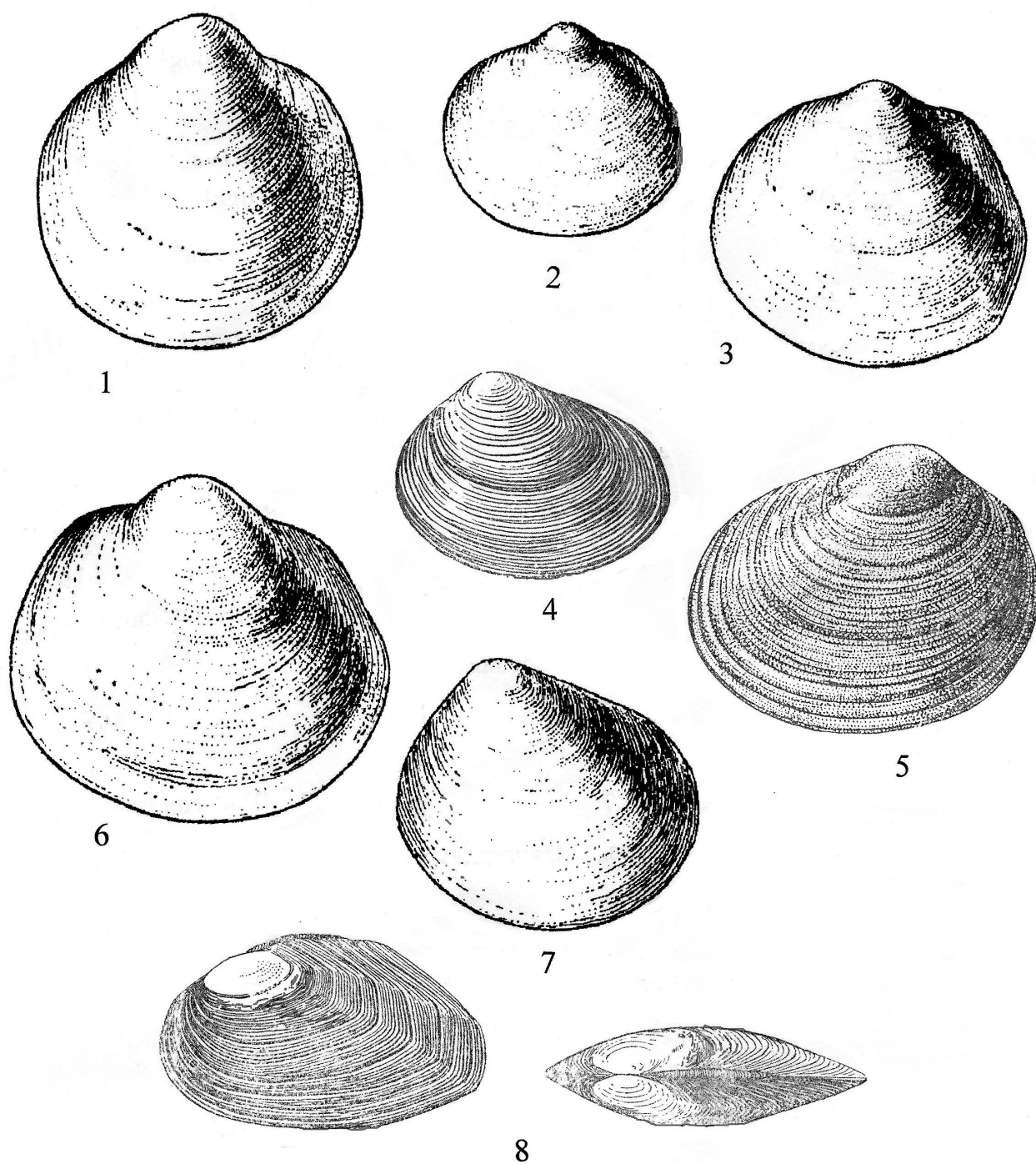


Таблица 9. ДВУСТВОРЧАТЫЕ МОЛЛЮСКИ (*BIVALVIA*)

1 – Роговая шаровка (*Sphaerium corneum*), 2 – Массивная шаровка (*Amesoda solida*), 3 – Полуоткрытая шаровка (*Amesoda scaldiana*), 4 – Речная горошинка (*Pisidium amnicum*), 5 – Болотная горошинка (*Euglesa casertana*), 6 – Речная шаровка (*Sphaeriastrum rivicola*), 7 – Холодноводная горошинка (*Neopisidium conventus*), 8 – Утиная беззубка (*Anodonta minima*)

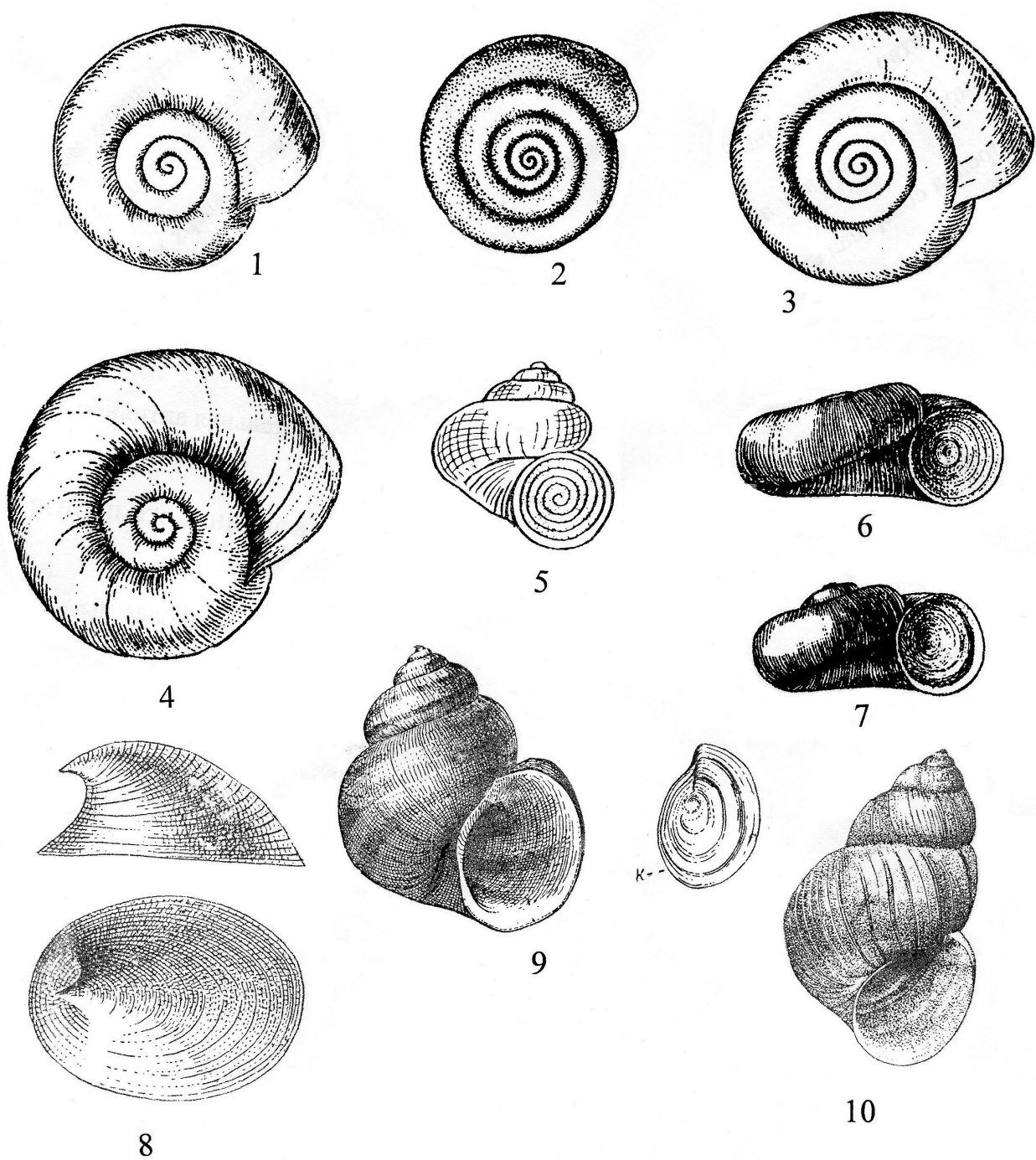


Таблица 10. БРЮХОНОГИЕ МОЛЛЮСКИ (GASTROPODA)

1 – Килеватая катушка (*Planorbis carinatus*), 2 – Завернутая катушка (*Anisus vortex*), 3 – Окаймленная катушка (*P. planorbis*), 4 – Роговая катушка (*P. corneus*), 5 – Затворка обыкновенная (*Valvata piscinalis*), 6 – Сибирская затворка (*V. sibirica*), 7 – Красивая затворка (*V. pulchella*), 8 – Речная чашечка (*Ancylus fluviatilis*), 9 – Живородка болотная (*Viviparus contectus*), 10 – Речная живородка (*V. viviparus*)

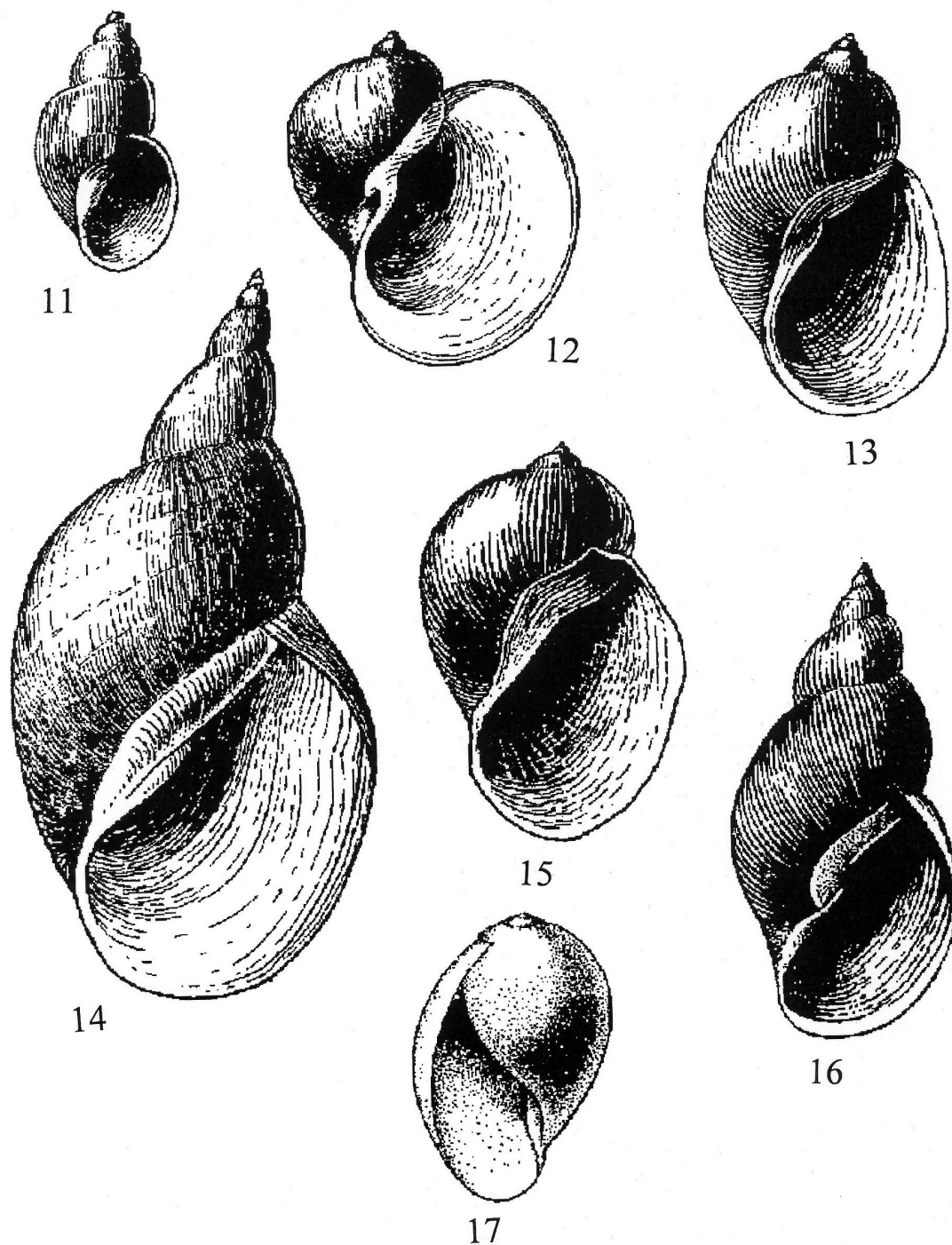


Таблица 10 (продолжение). БРЮХОНОГИЕ МОЛЛЮСКИ (GASTROPODA)

Прудовики: **11** – Малый прудовик (*Limnaea truncatula*), **12** – Ушковый прудовик (*L. auricularia*), **13** – Вытянутый прудовик (*L. peregra*), **14** – Обыкновенный прудовик (*L. stagnalis*), **15** – Овальный прудовик (*L. ovata*), **16** – Болотный прудовик (*L. palustris*), **17** – Физа пузырчатая (*Physa fontinalis*)

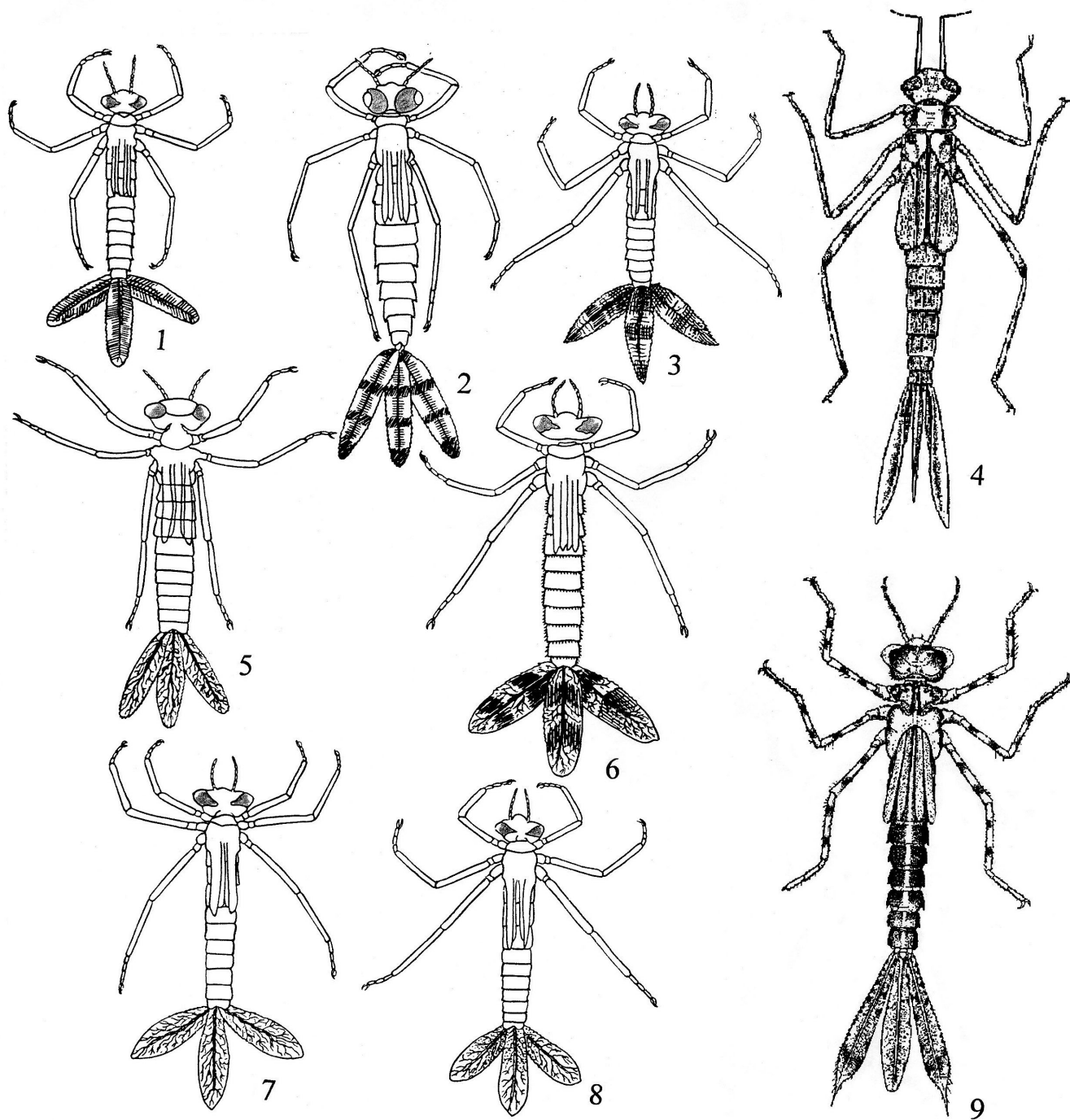


Таблица 11. РАВНОКРЫЛЫЕ СТРЕКОЗЫ

1 – *Chalcolestes viridis*, 2 – *Lestes sponsa*, 3 – *L. nympha*, 4 – *Calopteryx*, 5 – *Enallagma cyathigerum*,
6 – *Erythromma najas*, 7 – *Coenagrion puella*, 8 – *C. pulchellum*, 9 – *Platynemis*

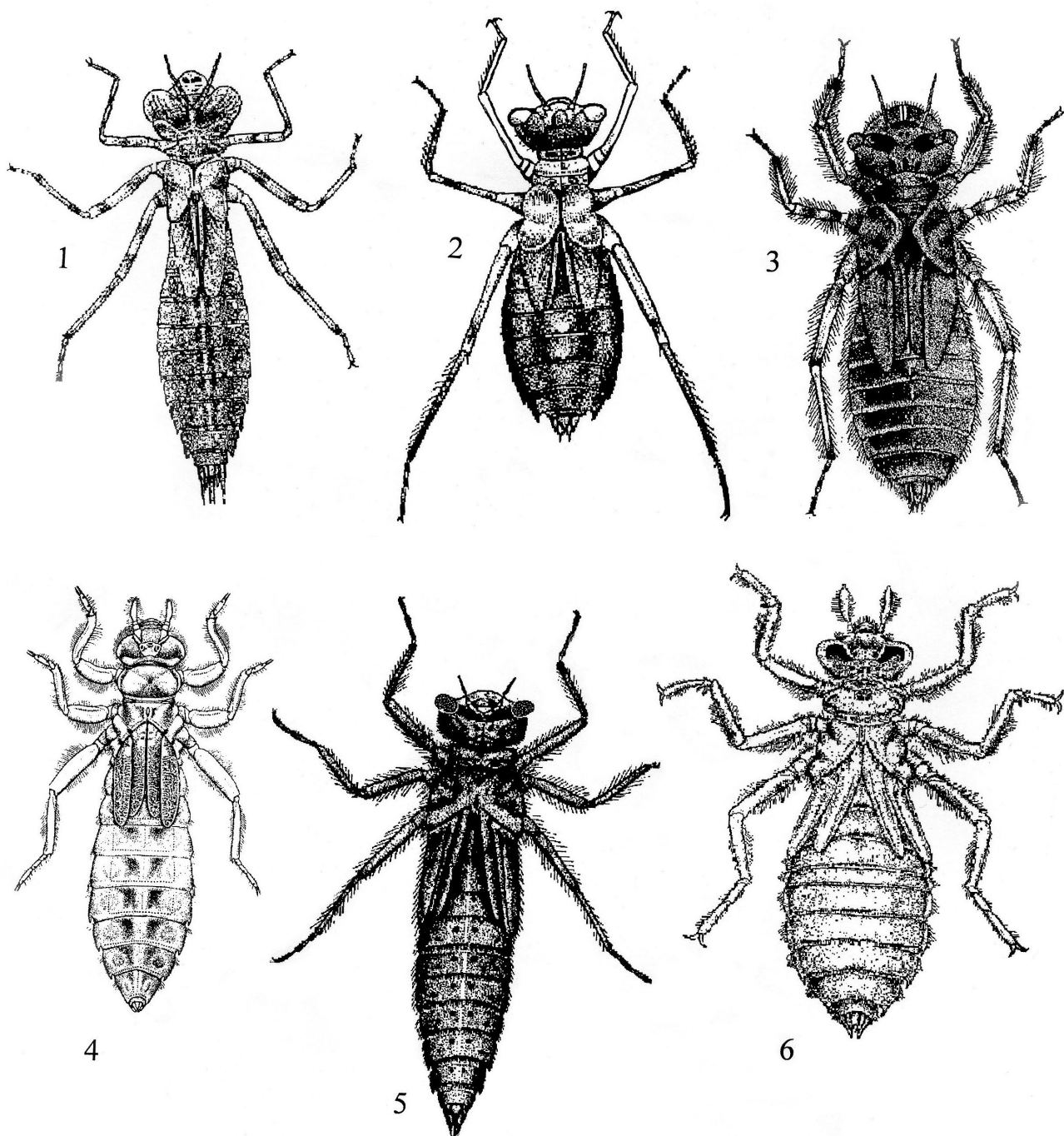


Таблица 12. РАЗНОКРЫЛЫЕ СТРЕКОЗЫ

1 – *Aeschna*, 2 – *Sympetrum*, 3 – *Libellula*, 4 – *Stylurus flavipes*, 5 – *Cordulegaster*, 6 – *Ophiogomphus*

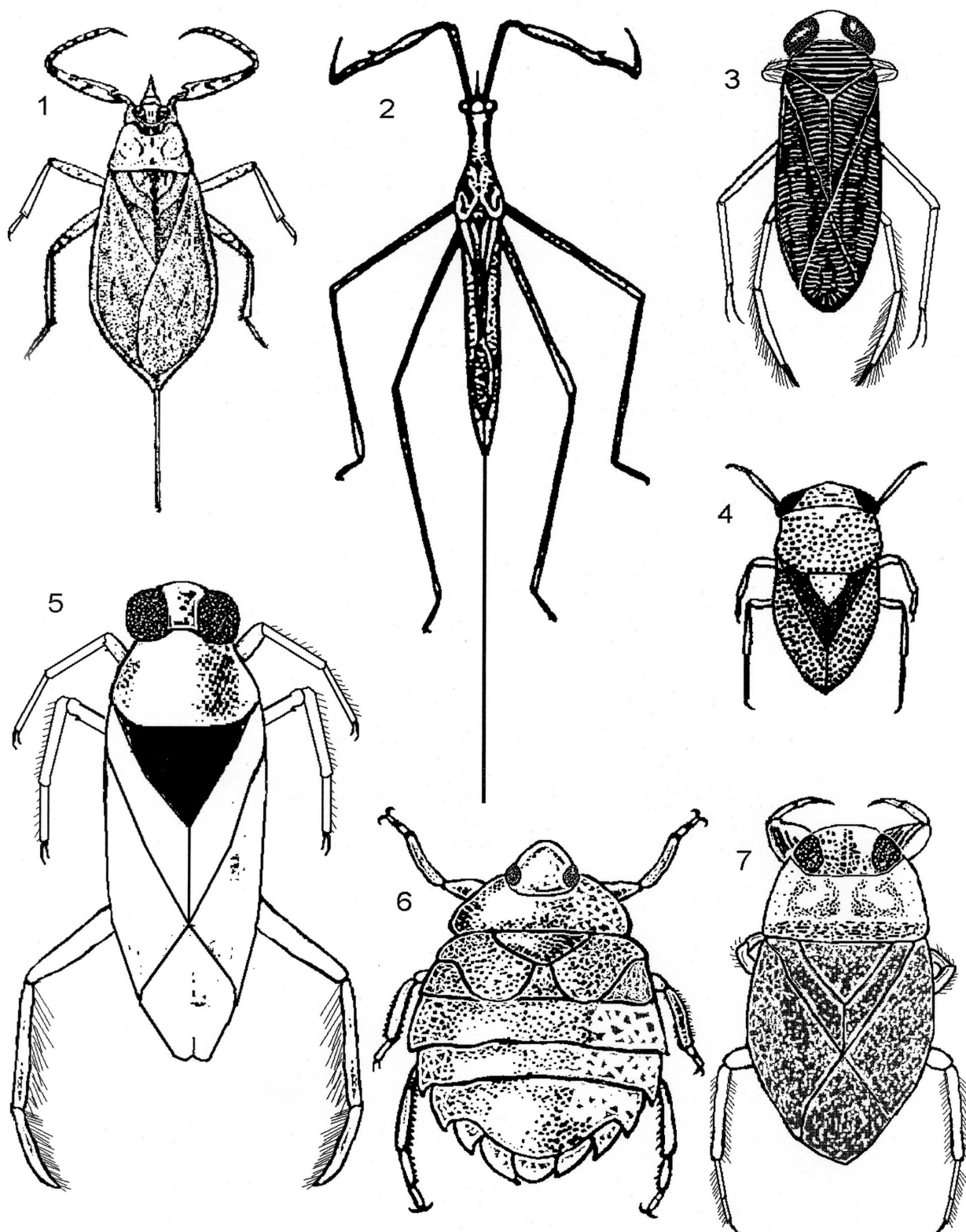


Таблица 13. КЛОПЫ (по М. В. Чертопруд, Е. С. Чертопруд, 2003)

1 – *Nepa cinerea*, 2 – *Ranatra linearis*, 3 – *Sigara*, 4 – *Plea minutissima*, 5 – *Notonecta glauca*, 6 – *Aphelocheirus aestivalis*, 7 – *Ilyocoris cimicoides*

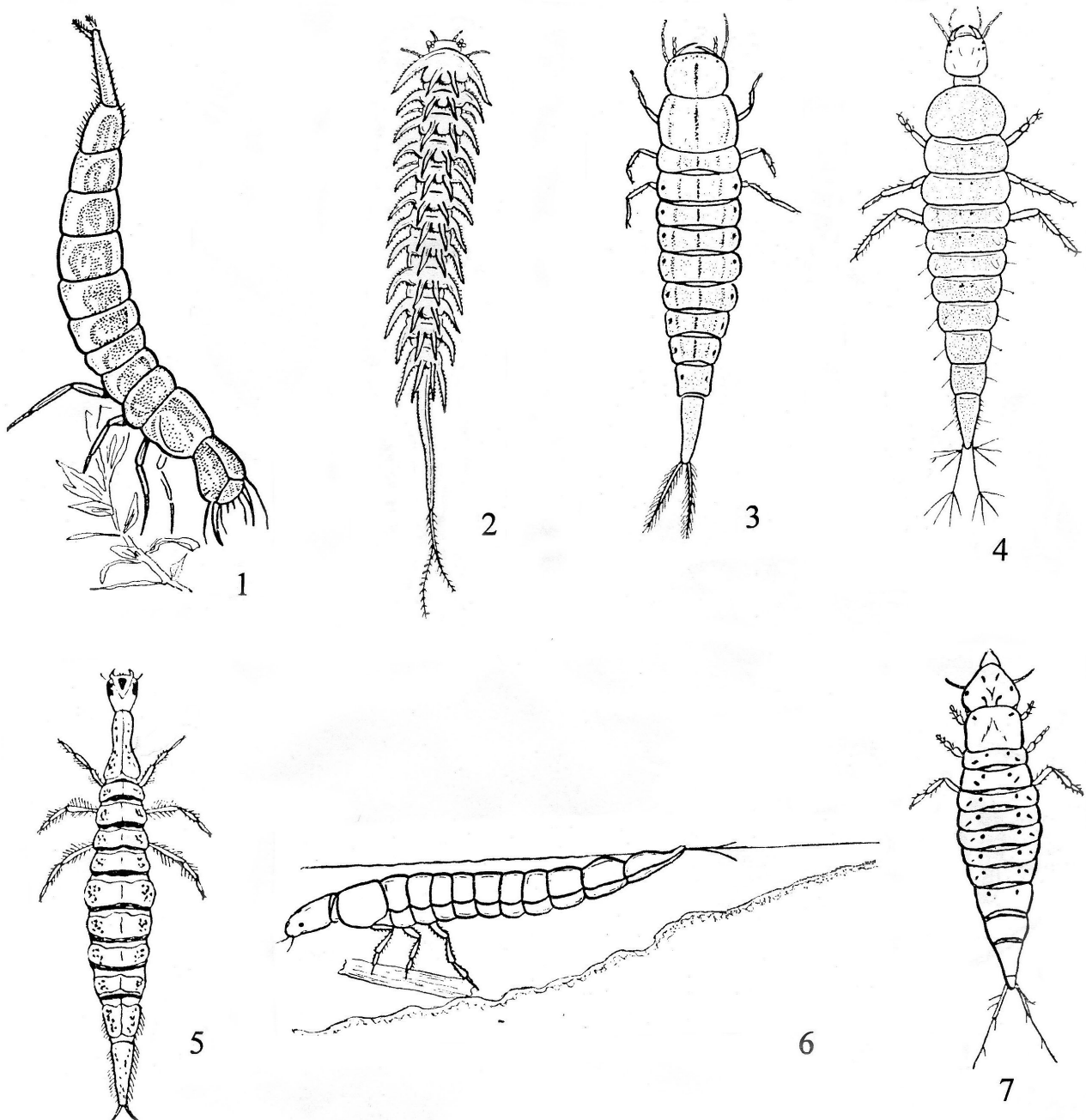


Таблица 14. ЛИЧИНКИ ЖУКОВ (по Е. М. Хейсину)

1 – личинка плавунца (*Dytiscus*), 2 – личинка плавунчика (*Haliphus*), 3 – личинка ильника (*Rhantus*), 4 – личинка тинника (*Ilybius*), 5 – личинка полоскуна (*Acilius*), 6 – личинка гребца (*Agabus*), 7 – личинка нырляки (*Hydroporus*)

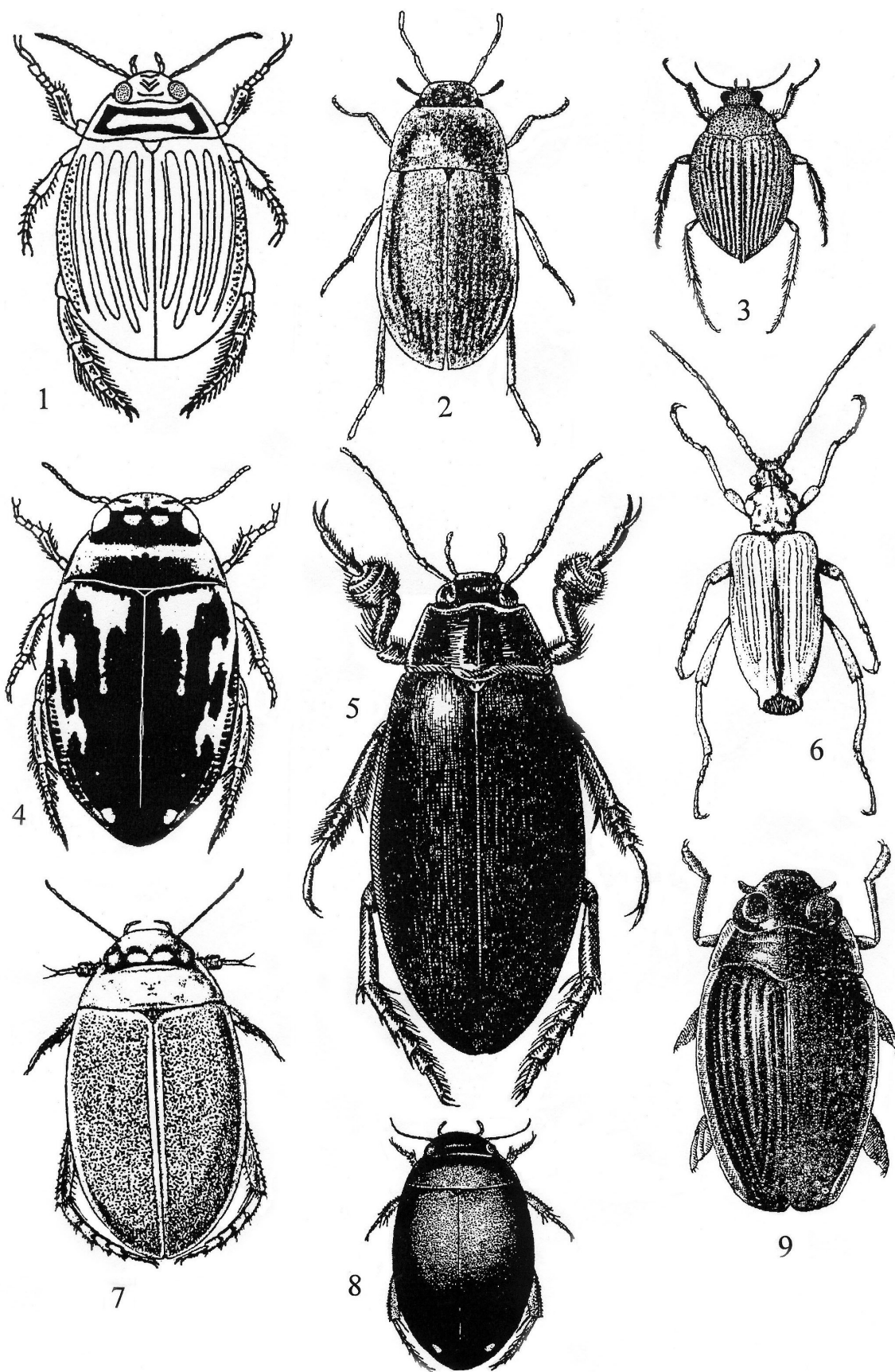


Таблица 15. ВЗРОСЛЫЕ ЖУКИ (по М. В. Чертопруд, Е. С. Чертопруд, 2003)

1 – плавунец (*Acilius*), 2 – водолюб (*Helochares*), 3 – плавунчик (*Haliphus*), 4 – пестрый гребец (*Platambus*), 5 – плавунец (*Dytiscus*), 6 – листоед (*Macrolea*), 7 – ильник (*Rhantus*), 8 – тинник (*Ilybius*), 9 – вертячка (*Gyrinus*)

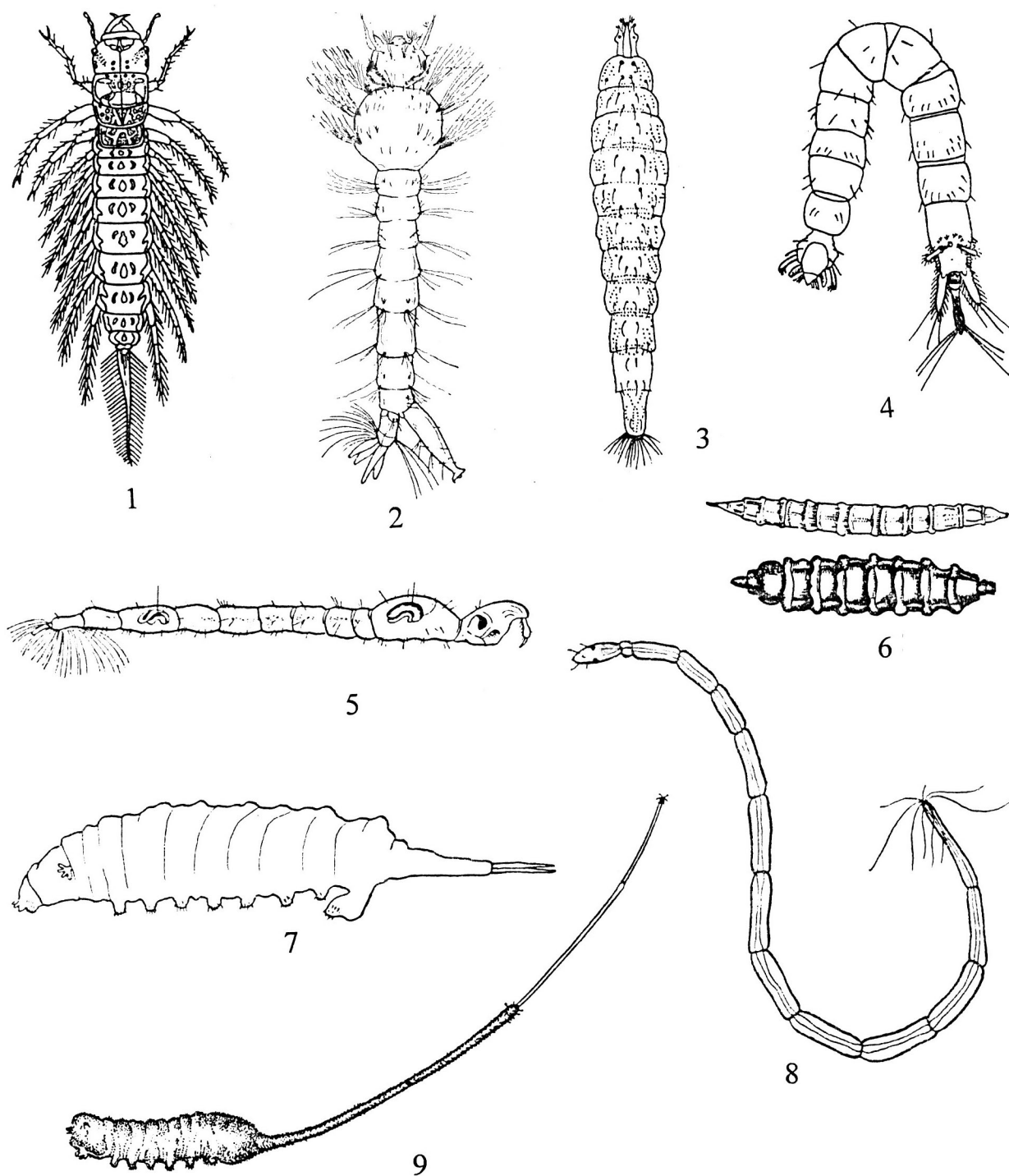


Таблица 16

1 – личинка вислокрылки (*Sialis*), 2 – личинка комара (*Culex*), 3 – личинка львинки (*Odontomyia*), 4 – личинка земноводного комарика (*Dixa*), 5 – личинка перистоусого комарика, коретра (*Chaoborus*), 6 – личинки слепней (*Tabanidae*), 7 – личинка эфидры (*Ephydra*), 8 – личинка мокреца (*Heleidae*), 9 – «крыска» (*Eristalis*)

ЛИТЕРАТУРА

Биологические методы определения качества воды. Методические разработки отдела биологии СПб ГДТУ, 2002.

Вудивисс Ф. Биотический индекс р. Трент. Макробеспозвоночные и биологическое обследование // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Л., 1977. С. 132–161.

Глаголев С. М., Чертопруд М. В., Харитонов Н. П., Ямпольский Л. Ю. Летние школьные практики по гидробиологии. Методическое пособие. М., 1999. 288 с.

Данилова Ю. А., Ляндзберг А. Р., Муравьев А. Г. Биоиндикация состояния пресного водоема (иллюстрированная методика). Учебно-методическое издание. СПб., 1999.

Жадин В. И. Моллюски пресных вод СССР. М.; Л., 1952. 376 с.

Заика Е. А., Молчанова Я. П. Рекомендации по организации полевых исследований состояния ма-

лых водных объектов с участием детей и подростков. М., 2001.

Кухарев В. И. Методические аспекты биологической оценки качества вод малых водотоков в связи с хозяйственной деятельностью на их водосборах // Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды. Петрозаводск, 1986. С. 73–78.

Макрушин А. В. Биологический анализ качества вод. Л., 1974. 60 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Л., 1977. 511 с.

Хейсин Е. М. Краткий определитель пресноводной фауны. М., 1962. 148 с.

Чертопруд М. В. Мониторинг загрязнения водоемов по составу макробентоса. Методическое пособие. М., 1999. 17 с.

Чертопруд М. В., Чертопруд Е. С. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод центра Европейской России. 2003.

Яшнов В. А. Практикум по гидробиологии. М., 1969. 428 с.

СЛОВАРЬ используемых терминов

Биота – исторически сложившийся комплекс живых организмов, обитающий на какой-то крупной территории, в водоеме, водотоке.

Биотоп – относительно однородное по абиотическим факторам среды пространство, занятое биоценозом.

Биоценоз – исторически сложившаяся группировка организмов различных видов, обитающих в пределах того или другого биотопа.

Макрофиты – растения-макроорганизмы, главным образом высшие (сосудистые), воздушно-водные, погруженные и полупогруженные, но также прикрепленные низшие и плавающие водоросли.

Оксифилы – организмы, нуждающиеся в высокой концентрации кислорода и не способные переносить значительных ее колебаний.

Стенобионты – организмы, требующие строго определенных условий существования и выдерживающие лишь небольшие изменения тех или иных факторов среды обитания.

Таксон – любая систематическая категория организмов (вид, род, семейство и т. д.).

Эврибионт – организм, живущий в различных, порой резко отличающихся друг от друга условиях среды.

МЕТОДЫ БИОТЕСТИРОВАНИЯ ВОДЫ И ВОДНЫХ ВЫТЯЖЕК ИЗ ПОЧВ

Н. М. Калинкина

Институт Водных проблем Севера КарНЦ РАН

Токсикологический контроль загрязнения пресных вод в наиболее интегральной форме характеризует пригодность среды для обитания водных организмов. К сожалению, в России юридическим основанием для оценки наносимого водным экосистемам ущерба в результате их загрязнения служат только результаты химического анализа воды. Однако химический контроль позволяет определить содержание отдельного компонента в воде и выявить его возможную опасность, в то время как всевозможные эффекты комбинированного взаимодействия ядов остаются при этом не оцененными. Экспрессные методы биотестирования помогают распознать острую токсичность среды в целом, что имеет особое значение в случаях массового загрязнения водных экосистем, поэтому токсикологический контроль должен играть важную роль в общей системе охраны вод от загрязнений (Строганов, 1976).

В настоящей статье предлагаются методы биотестирования сточной воды и водных вытяжек из почв, позволяющие дать экспрессную оценку их токсичности. При проведении токсикологических экспериментов необходимо ставить контрольный вариант: в воду без добавки токсиканта помещают такое же количество подопытных организмов, как и в пробы с разбавлениями сточных вод. Опыт продолжительностью 24 часа считается поставленным успешно, если в контроле не наблюдали гибели животных. Объем контрольной воды должен быть равен объему раствора токсиканта. В качестве контрольной разбавляющей воды обычно используется водопроводная вода, которую выдерживают при комнатной температуре в течение 3–4 суток. Современные методики (Жмур, 2001) также в качестве контрольных предлагают использовать и грунтовые воды, т. е. воды из подземных источников, которые не должны содержать вредных примесей, в том числе углекислого газа; величина pH грунтовых вод должна быть на уровне 7,0–8,2, общая жесткость – 80–250 мг/дм³ (выраженная в CaCO₃), концентрация растворенного кислорода – не менее 6 мг/дм³. Перед использованием в опыте контрольную воду процеживают через фильтровальную бумагу или обычный тюль, сложенный в несколько раз. Во время опыта необходимо регистрировать температуру воды.

В качестве тест-объектов в опытах обычно используются ветвистоусые рачки (дафнии) – *Daphnia magna* Straus. Подробная информация о разведении этих рачков в лабораторной культуре представлена в работах (Ивлева, 1969;

Калинкина, Пименова, 2003; Строганов, Колосова, 1971). Дафний помещают в изучаемые растворы с помощью стеклянных трубочек. Во время опытов рачков не кормят.

Биотестирование воды

В настоящей статье представлен табличный метод биотестирования образцов воды. Этот метод позволяет расчетным путем найти кратность разбавления, вызывающего гибель 50% дафний, т. е. величину среднесмертельного разбавления – CP₅₀, а также статистическую ошибку этой величины, что позволяет оценить ее точность.

Табличный метод определения CP₅₀ основан на методах В. Б. Прозоровского, М. П. Прозоровской (1980), Е. А. Зоммер (1992) и разработках автора данной статьи (Коросов, Калинкина, 2003). Метод требует небольшого числа испытуемых животных в каждом сосуде – по два рачка. Это позволяет и в обычной микробиологической пробирке объемом не менее 10 мл создавать для них нормальные условия обитания. Для опыта необходимо приготовить 11 разбавлений сточной воды согласно схеме, представленной в табл. 1. Объем тестируемой среды составляет 10 мл. Опыт проводится в двух повторностях. С учетом контрольного варианта всего в опыте используется 24 пробирки. Общее количество рачков, используемых в опыте, – 48 экземпляров.

Поскольку в данном эксперименте используются небольшие объемы растворов (10 мл), очень важно точно выдерживать концентрацию раствора. Поэтому при посадке рачков в растворы применяют следующий прием.

Таблица 1
СХЕМА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ОПЫТНЫХ СРЕД
ДЛЯ БИОТЕСТИРОВАНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТАБЛИЧНОГО МЕТОДА

№ пробирки	Количество сточной воды, мл	Количество разбавителя, мл
(контроль)	0	10,0
1	1,00	9,00
2	1,26	8,74
3	1,58	8,42
4	2,00	8,00
5	2,50	7,50
6	3,16	6,84
7	3,98	6,02
8	5,01	4,99
9	6,31	3,69
10	7,94	2,06
11	10,0	0

24 пробирки используют для приготовления растворов, в другие 24 пробирки рассаживают по 2 экземпляра рачков. С помощью капилляра из пробирок с дафниями удаляются излишки воды так, чтобы не повредить животных. Растворы последовательно заливают в пробирки, где находятся подопытные животные. Во время опытов рачков не кормят.

Через 1 час, 2, 4, 10 и 24 часа определяют количество **погибших** рачков в каждом сосуде. Результаты наблюдений заносят в табл. 2.

Для определения среднесмертельного разбавления результаты опытов (табл. 2) нужно сопоставить с содержанием табл. 3. Всего возможно 7 исходов экспериментов, каждому из которых соответствует строка в табл. 3. В первом столбце приведены результаты опытов, а в одном из последующих – искомое значение среднесмертельного разбавления.

Обычно это значение определяется следующим образом. Сначала в табл. 2 найдем номер опыта, в котором погибло хотя бы одно животное (пробирка 7). Отступим влево на один опыт (опорная пробирка 6) и будем считать результатом нашего эксперимента 4 цифры: число погибших животных в этой пробирке и в трех последующих. В нашем случае это будут числа

0, 1, 1, 2. Теперь по табл. 3 найдем строку с таким же результатом эксперимента (у нас – строка 3). Искомое значение среднесмертельного разбавления будет находиться в этой строке в графе с номером опорной пробирки (т. е. в графе 6). Это и будет окончательная характеристика токсичности сточных вод с учетом статистической ошибки: в нашем случае 447 мл/л (–70; +80).

В более сложных случаях выбор опорной пробирки может быть другим. Все эти случаи отображены в первом столбце табл. 3. Этот точный метод широко используется в водной токсикологии.

Для целей экологического образования можно проводить биотестирование, например, воды различных ручьев и рек, впадающих в Петрозаводскую губу Онежского озера, особенно в районе водозабора питьевой воды. Все эти ручьи, как правило, дренируют сильно загрязненные территории (автотрассы, свалки на территории города, строительные площадки, зоны рекреации), поэтому можно ожидать проявления вредного воздействия их воды на водные организмы. Эти исследования будут иметь важное практическое значение, поскольку позволят оценить потенциальную опасность

Таблица 2

КОЛИЧЕСТВО ПОГИБШИХ РАЧКОВ В КОНТРОЛЕ И В ПРОБАХ С РАЗЛИЧНЫМИ РАЗБАВЛЕНИЯМИ СТОЧНОЙ ВОДЫ

Температура	Дата, место отбора пробы	Продолжительность опыта, час	Повторность	Контроль	Номер пробирки										
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
22°	15.11.98 комбинат	24	1 2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	1 1	1 1	2 2	2 2	2 2

Примечание. 0 – нет гибели; 1 – одно животное погибло; 2 – двое животных погибли.

Таблица 3

СРЕДНЕСМЕРТЕЛЬНОЕ РАЗБАВЛЕНИЕ И ЕГО ОШИБКА

Последовательность реакций	Номер пробирки									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
0, 1, 2, 1	CP50	146	184	231	290	368	460	580	730	920
	–	40	30	63	80	100	125	160	200	250
	+	54	68	87	100	135	175	220	275	350
0, 0, 2, 2	CP50	141	178	224	282	355	447	564	708	890
	–	20	23	28	35	44	58	70	87	110
	+	25	30	35	40	50	65	80	100	130
0, 1, 1, 2	CP50	141	178	224	282	355	447	564	708	890
	–	25	28	40	50	63	70	90	120	150
	+	28	33	44	55	65	80	100	132	172
1, 0, 1, 2	CP50	137	172	218	274	346	435	547	690	870
	–	37	46	58	74	93	118	147	186	235
	+	52	65	82	104	131	165	206	261	329
0, 2, 1, 2	CP50	129	163	205	258	325	410	515	650	815
	–	24	30	38	48	61	76	95	120	150
	+	29	37	64	58	73	92	115	146	183
1, 0, 2, 2	CP50	120	150	190	239	300	379	477	600	755
	–	24	30	38	48	60	76	96	120	152
	+	31	39	49	59	77	98	123	154	194
0, 1, 2, 2	CP50	129	163	205	258	325	410	515	650	815
	–	18	22	28	35	44	56	70	89	111
	+	20	24	30	38	48	61	77	98	121

всевозможных ручьев для Петрозаводской губы – главного источника питьевой воды для населения г. Петрозаводска. Пробы, отобранные после дождей, в сухой период, в разные сезоны, покажут, меняется ли токсичность воды ручьев, т. е. позволят проследить за изменением токсической нагрузки многочисленных ручьев на водоем.

Биотестирование водных вытяжек почв

В последние годы методы биотестирования с использованием дафний успешно применяют и для оценки токсичности донных отложений (Калинкина и др., 2002; Кливленд и др., 2005), осадков сточных вод, почв (Жмур, 2001). Для этих целей из грунтов получают водные вытяжки, в них помещают рачков, а дальнейшая процедура в целом сходна с методикой биотестирования обычных образцов воды. При биотестировании водных вытяжек почв или донных отложений водоемов необходимо соблюдать условие: в качестве одного из исследуемых образцов должен обязательно присутствовать образец почвы (донных отложений) из незагрязненных участков. Этот образец служит своего рода дополнительным контролем правильности используемой методики: водные вытяжки из грунтов, отобранные из заведомо чистой зоны, не должны вызвать гибели дафний.

В настоящей статье приводится упрощенный вариант методики по биотестированию водных вытяжек почв, основные этапы которой представлены в руководстве Н. С. Жмур (2001). Некоторые разделы методики (определение гигроскопической влажности почвы после высушивания) здесь не приводятся, так как представляют достаточную сложность для школьных работ. Предлагаемая методика позволяет дать ориентировочную оценку токсичности водных вытяжек из почв. Для целей экологического образования в этом случае лучше всего подходят, например, участки газонов, расположенные в непосредственной близости от дороги, в 4–5 м от автодороги, в 10–15 м от дороги и т. д. При этом предполагается, что почвы находятся на городских территориях и испытывают заметное антропогенное воздействие. В этом случае можно оценить, изменяется ли токсичность водных вытяжек почв в результате действия выбросов автотранспорта. Можно также заложить площадки для изучения токсичности почв газонов в разных районах города (расположенных, например, вблизи или на удалении от каких-либо крупных промышленных предприятий). В этом случае можно попытаться оценить влияние на токсичность почв газовых выбросов. В качестве условно чистой площадки можно выбрать участки газонов, расположенных в парковых зонах, удаленных от автодорог и промышленных предприятий.

Отбор образцов почвы. Для исследования выбирается серия площадок, находящихся на

разном расстоянии от источника загрязнения. Участки для отбора почв должны хорошо отражать характер района исследования и быть однородными по структуре.

Для характеристики загрязнения почвы на каждой площадке отбираются объединенные пробы почвы. На площадке в разных точках отбирается методом конверта не менее 5 единичных проб – в разных углах квадрата размером 5 x 5 м и в центре его. Объединенную пробу составляют путем смешивания единичных проб. Объем единичных проб должен быть одинаков.

Лопатой делается прикопка на глубину 30–40 см, снимается верхний слой с растениями. Отбирается образец поверхностной пробы почвы до глубины 5–10 см массой 0,5 кг. Снятый с газона дерн укладывается на прежнее место.

Единичные пробы сыпают на клеенку, тщательно перемешивают. Затем объединенную пробу сокращают в 4 раза – квартую. Для этого почву разравнивают на клеенке в виде квадрата, делят на 4 части. Две противоположные части отбрасывают. Две оставшиеся части перемешивают. Оставшуюся после квартования почву делят на 6–9 квадратов, из центра которых отбирают примерно одинаковое количество почвы, обеспечивая захват всей толщины слоя. Помещают эти порции в банку с полиэтиленовой крышкой. Таким образом, получают объединенную пробу, масса которой составляет 0,5 кг. При отборе проб почвы ведут дневник, в котором указывают число, время, место отбора пробы, номер пробы. На банку наклеивают этикетку с указанием номера пробы, места, даты и времени ее отбора.

Пробы почв после отбора должны подвергнуться анализу не позднее 12 часов от момента отбора. При невозможности соблюдения этого условия пробы почвы в естественном влажном состоянии хранят в холодильнике при температуре от +2 до +4 °C не более одной недели.

Приготовление водной вытяжки из почв.

В лаборатории отобранные почвы разрыхляют, освобождают от случайного материала (возможные промышленные или бытовые отходы, галечник, обломки корней и веток). Эти данные заносятся в дневник.

Пробы просеивают через сито с размером ячеек 1 мм и доводят до воздушно-сухого состояния, для чего почву подсушивают в хорошо проветриваемом помещении, размещая ее на листах чистой бумаги. Размещенные таким образом почвы выдерживают открытыми не менее 2 часов при комнатной температуре.

Водную вытяжку из почвы для биотестирования готовят в соотношении: 1 часть почвы и 4 части контрольной воды. Для приготовления водной вытяжки из почвы отвешивают 100 г пробы почвы в воздушно-сухом состоянии. Для этого подготовленную пробу распределяют на ровной поверхности слоем толщиной не более 1 см и отбирают ложкой из 5 точек методом

конверта так, чтобы общее количество составило 100 г.

Масса пробы должна быть достаточной для получения необходимого количества водной вытяжки при проведении биотестирования во всех предполагаемых разведениях с учетом контрольных испытаний. Навеску почвы (100 г) помещают в колбу емкостью 1000 см³ и приливают 4-кратное количество контрольной воды (400 мл).

Полученную смесь выдерживают в течение 2 часов, тщательно перемешивая через каждые 15 мин. После чего отстаивают в течение 1 часа. Надосадочная жидкость сифонируется, а затем профильтровывается через бумажные фильтры «белая лента». При выливании суспензии на фильтр содержимое колбы встряхивают, чтобы взмутить взвешенные частицы почвы. При выливании струю суспензии направляют на боковую двойную стенку бумажного фильтра, но не на дно фильтра, так как при выливании на дно бумага может легко порваться. Первые порции фильтрата часто бывают мутными и их нужно несколько раз перефильтровать до прозрачного раствора.

При повышенной мутности водной вытяжки из почв допускается отстаивание в холодильнике до 5 суток. Затем жидкость над осадком сифонируется. Вытяжка из почв должна иметь величину pH в диапазоне 7,0–8,2. При необходимости вытяжку перед биотестированием предварительно нейтрализуют, добавляя по каплям 10%-й раствор едкого натра. После нейтрализации пробы аэрируют 10–20 мин. для стабилизации pH. Непосредственно перед началом биотестирования пробы доводят до температуры от 19 до 24 °С. Биотестируемая проба водной вытяжки из почв должна иметь концентрацию растворенного кислорода не ниже 6 мг/дм³, в противном случае пробу аэрируют.

Биотестирование полученной водной вытяжки из почвы проводят по методике биотестирования воды, описанной в данной статье. Получаемые среднесмертельные раз-

бавления водных вытяжек служат характеристикой их токсичности.

ЛИТЕРАТУРА

Жмур Н. С. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. Биологические методы контроля. ФР.1.39.2001.00282. М., 2001. 52 с.

Зоммер Е. А. Токсикология поллютантов // Экологические исследования Байкала и Байкальского региона. Иркутск, 1992. Ч. 2. С. 66–71.

Ивлева И. В. Биологические основы и методы массового культивирования кормовых беспозвоночных. М., 1969. 171 с.

Калинкина Н. М., Пименова И. В. Выращивание лабораторных культур ветвистоусых рачков *Daphnia magna* Straus и *Simoccephalus serrulatus* Koch // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск, 2003. С. 103–111.

Калинкина Н. М., Тимакова Т. М., Полякова Т. Н., Белкина Н. А. Проблемы биотестирования донных отложений // Проблемы экологической токсикологии. Труды кафедры зоол. и экол. Первая серия. Вып. 1. Петрозаводск, 2005. С. 39–51

Кливленд Л., Томилини И. И., Флеров Б. А. и др. Химическая и токсикологическая характеристика донных отложений Рыбинского водохранилища (север России) // Современные проблемы водной токсикологии. Тез. докл. Всероссийск. конф. 19–21 ноября 2002 г. Борок, 2002. С. 111.

Коросов А. В., Калинкина Н. М. Количественные методы экологической токсикологии. Учебно-методическое пособие. Петрозаводск, 2003. 52 с.

Прозоровский В. Б., Прозоровская М. П. Табличный метод определения ЕД₅₀ (LD₅₀) веществ с низкой биологической активностью // Фармакология и токсикология. 1980. № 6. С. 733–735.

Строганов Н. С. Токсическое загрязнение водоемов и деградация водных экосистем // Общая экология. Биоценология. Гидробиология. Т. 3. Водная токсикология. М., 1976. С. 5–47.

Строганов Н. С., Колосова Л. В. Ведение лабораторной культуры и определение плодовитости дафний в ряде поколений // Методики биологических исследований по водной токсикологии. М., 1971. С. 210–216.

СЛОВАРЬ используемых терминов

Выживаемость – количество организмов, выживших к концу эксперимента, выраженное в процентах от исходного количества или в процентах от числа животных в контрольном опыте.

Контроль (контрольный вариант) – содержание подопытных животных в средах без добавки токсикантов при одновременном проведении наблюдений за состоянием животных в средах, содержащих вредные вещества. Контроль служит показателем жизнеспособности культуры подопытных организмов и индикатором возможного влияния на результаты опытов неучтенных факторов.

Среднесмертельное разбавление (концентрация) – расчетный показатель; разбавление сточных вод или концентрация какого-либо вещества, вызывающие гибель 50% организмов за определенный срок.

Токсикологические эксперименты – опыты, в которых исследуется ядовитое действие веществ на организм.

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИКИ ИХТИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В КУРСЕ ШКОЛЬНОЙ ФАКУЛЬТАТИВНОЙ ПРОГРАММЫ ПО БИОЛОГИИ

А. П. Георгиев

*Институт Водных проблем Севера Кар НЦ РАН
Северный научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
Петрозаводского государственного университета – СевНИИРХ ПетрГУ*

Введение

Рыбы для наблюдателя представляют двойной интерес: во-первых, как хозяйственный объект, во-вторых, как объект, изучение которого содействует общему пониманию природы и ее законов. Наблюдая за рыбами, можно применить и понять многие общебиологические факты. Прежде всего на рыбах (видовой состав рыб и их морфобиологические характеристики) в сильной степени сказываются условия водоема. Температура, глубины, течения и ряд других условий (гидрохимические и гидробиологические) определяют все главнейшие стороны жизни рыб. К примеру, миграции рыб (нерестовые, нагульные), залегание рыбы на зиму – все это в сильной степени зависит от колебания температуры воды. На основании этого, порой, наблюдатель замечает, что между одним и тем же видом рыб, но из разных водоемов существуют хоть и не столь большие, но различия. Поэтому, с одной стороны, водоемы влияют на рыб, а с другой, многие рыбы могут приспосабливаться к различным условиям среды, изменяя при этом жизненные привычки и наружные признаки. К примеру, там, где рыбы находят мало питания, или где условия слишком суровы, они медленно растут (низкий темп роста), а в других водоемах, где достаточно питания и условия относительно благоприятные, рыба растет значительно быстрее (высокий темп роста) (Дгебуадзе, 2001; Мина, 1981).

Как любая научная работа, изучение рыб требует от наблюдателя аккуратного исполнения указаний, в первую очередь, относящихся к сбору материала. Оплосность, недосмотр, допущенные в начале работы (сбор материала), могут привести к большим ошибкам (погрешностям) при использовании собранных материалов в дальнейшем исследовании и нередко делают почти невозможным их использование в дальнейшем.

Ниже дается приблизительный план, которого можно придерживаться на первых этапах работы. Конечно же, он может меняться в зависимости от выбранной темы.

Предварительные работы

1. Предполагаемая тематика и план работы.

2. Сбор литературы по выбранной теме:

- Сбор литературы по выбранному виду рыб и по видовому составу рыб в выбранном водоеме.

3. Подбор оборудования.

Полевые работы

1. Сбор ихтиологического материала:

- материал на возраст
- массовый промер
- плодовитость (нерестовый период, если это возможно).

Камеральная (лабораторная) обработка

1. Определение возраста (Правдин, 1966; Решетников, 1980).
2. Размерно-возрастная характеристика популяции.
3. Плодовитость.
4. Степень упитанности (Фультон; Кларк).

Прежде всего необходимо определиться с объектом исследования. Тему лучше выбрать самому (каким объектом вам интересней заниматься), но посоветовавшись с преподавателем. Основные правила при выборе темы – это доступность сбора материала:

1. Ихтиологический материал можно собрать, не прибегая к большим физическим и материальным затратам (оборудование).
2. Наличие основных знаний об объекте вашего исследования (по литературе):
 - отличать его от других видов рыб
 - знать его жизненный цикл, в частности сроки нереста (для исследования плодовитости).
3. На первых этапах лучше исследование проводить под руководством преподавателя.

Предположим, мы живем недалеко от Ладожского озера, т. е. больших финансовых проблем относительно проведения полевых исследований у нас нет. Интересным объектом на озере являются представители семейства сиговых рыб. Как известно, сиговым рыбам свойственна высокая пластичность, проявляющаяся в их большой изменчивости и полиморфизме. Подобная дифференциация произошла у ряпушки, в результате чего в Ладожском озере выделились две ее формы: мелкая ряпушка (*Coregonus albula* L.) и крупная – рипус

(*Coregonus albula ladogenis* Pravdin). Последняя форма не учитывается в промышленных уловах и обычно сдается на рыбоприемные пункты вместе с сигом. Работ, посвященных биологии рипуса, немного, поэтому вопросы, связанные с изучением этой формы, весьма актуальны. Итак, мы определились, что хотим изучать.

**Структуры популяции рипуса
(*Coregonus albula ladogenis* Pravdin)
Ладожского озера**

Второй пункт плана при предварительных работах – это сбор оборудования (в зависимости от выбранной темы). Мы приведем список оборудования, необходимого для исследования размерно-возрастной структуры популяции рыб:

1. Карта водоема с обозначенными на ней глубинами.
2. Орудия лова (если необходимо).
3. Книжки для сбора чешуи на возраст.
4. Измерительные ленты.
5. Тетрадь, линейка, ручка, карандаш, весы.
6. Раствор формалина (если исследовать плодовитость).
7. Пинцеты, ножницы, небольшое полотенце.

Наиболее простыми и менее трудоемкими являются работы по изучению размерно-возрастного состава рыб, темпа роста, упитанности. В дальнейшем можно провести более сложные исследования, к примеру, питание рыб и т. д.

Изучение возраста рыб играет первостепенную роль. Зная жизненный цикл рыбы, в частности, сроки полового созревания, темп роста рыбы, можно установить размеры, когда наиболее целесообразно ее вылавливать, можно также судить и о кормности водоема, а иногда и о принадлежности рыбы к определенной форме или расе в пределах вида, что не всегда удастся установить при морфологическом исследовании. Знание возраста рыб помогает определить «скороспелые» виды рыб (сроки полового созревания). В зависимости от этого можно судить, достаточно ли промысел использует природные запасы водоема, следует ли увеличить его или сократить. С этим связано такое понятие, как общий допустимый улов (ОДУ), который наряду с другими показателями определяют многие научно-исследовательские институты (к примеру, Северный научно-исследовательский институт рыбного хозяйства Петрозаводского государственного университета – СевНИИРХ ПетрГУ). Показатель общего допустимого улова определяется применительно к отдельному виду на отдельно взятом озере, потому что, как уже было сказано выше, каждый водоем обладает определенными характеристиками (гидрологическими, гидрохимическими и гидробиологическими), отличными от другого, которые, возможно, накладыва-

ют свой отпечаток и на морфобиологические показатели рыб.

Возраст наших рыб определяют по отолитам (корюшка, налим), толстому грудному плавнику (судак, сом, осетр), жаберной крышке (окунь). Но легче всего – по их чешуе или позвонкам (лососевые, сиговые, карповые рыбы). Лучше всего определять по чешуе, а позвонки брать у тех рыб, у которых чешуи нет или она слишком мелкая.

На чешуе, как на кружке распиленного дерева, заметны годовые кольца (рис. 1). На рисунке видны очень мелкие кольца (склериты). Расстояние между отдельными склеритами различное, это зависит от того, как рыба в течение года растет не одинаково. Обычно зимой рост рыбы замедляется, поэтому расстояние между зимними склеритами меньше.

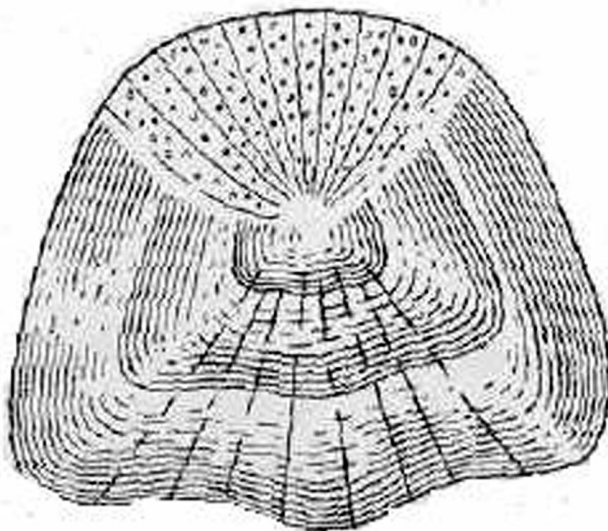


Рис. 1. ЧЕШУЙКИ ТРЕХЛЕТНЕГО (3+) РИПУСА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

А на чешуе такие сближенные склериты образуют темные кольца, которые соответствуют количеству прожитых рыбой лет. Следовательно, в течение года на чешуе образуется одно относительно темное и светлое кольцо. Расстояние от наружного края следующего темного кольца соответствует годовому приросту.

Методика сбора чешуи очень проста. Но прежде необходимо сделать следующее: номер рыбы по порядку, основные промеры (рис. 2) (к примеру, общая длина (AB), длина по Смиту (AC) и промысловая длина (AD), вес, пол, стадия зрелости гонад (по возможности) и записать в книжку. Книжки для сбора чешуи, как правило, состоят из скрепленной мягкой бумаги размером 15 x 5 см для мелкой рыбы (ряпушка) и 20 x 10 см для более крупной (сиг, лещ) по 20–25 страниц. На обложке книжки пишется название рыбы, место и год лова. Желательно на каждый вид изучаемой рыбы заводить отдельную книжку (рис. 3).

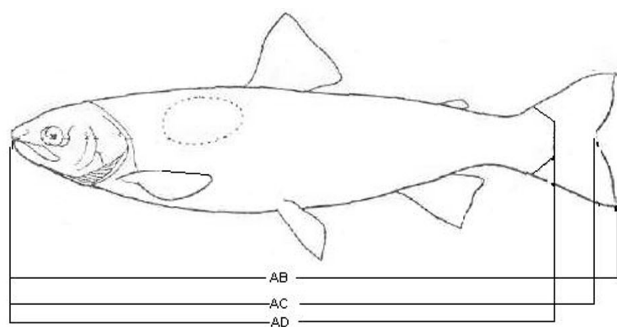


Рис. 2. СХЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ СИГОВЫХ РЫБ (в частности рипуса) И МЕСТО ВЗЯТИЯ ЧЕШУИ (отмечено круговым пунктиром)

№ <u>1</u>	Место лова <u>Лад. оз./Обжа/</u>
	Ихт. Стан № <u>3</u>
	Дата <u>27.06.06</u>
Вес (г) <u>320</u>	Место для чешуи
AB (см) <u>30</u>	
AC (см) <u>29</u>	
AD (см) <u>27,7</u>	
Навеска плод. <u>215</u>	
Пол и стад зрел <u>♀ IV</u>	
Питание <u>молодь ряпушки, корюшки</u>	

Рис. 3. ОБРАЗЕЦ ЗАПОЛНЕНИЯ СТРАНИЦЫ В ИХТИОЛОГИЧЕСКОЙ КНИЖКЕ

Чешуя берется выше боковой линии рыбы, впереди спинного плавника (рис. 2), хотя некоторые исследователи берут чешую с брюшка. Брать ее лучше пинцетом или, если чешуя мелкая, соскабливать скальпелем. Взятая чешуя вместе со слизью крепится на листочке чешуйной книжки и прикрывает его загнутым краем так, чтобы последний плотно приклеился. Когда чешуйная книжка закончена, ее следует перевязать ниткой, чтобы книжка не раскрывалась и чешуя не была бы потеряна (лучше рулончиком). Как правило, для характеристики возрастного состава рыб необходимо собрать не менее 100–150 экземпляров рыб.

Кроме того, если рыбы в уловах много (нерест), а времени для сбора чешуи мало, то возможно сделать более упрощенный вариант – исследование размерной характеристики рыб

(рис. 3), хотя бы одну длину, к примеру общая длина (AB) или длина по Смиуту (AC), или промысловая длина (AD) – **массовый промер**. Это довольно быстро и эффективно. Поэтому можно обработать большое количество рыбы за относительно небольшой промежуток времени. Затем разделить результаты измерения на размерные группы (табл. 1). Для более мелких рыб можно делать размерный ряд с шагом 1–2 см. Чем меньше шаг, тем точнее можно будет в дальнейшем вырисовывать кривую возраста популяции данного вида.

Как правило, размерный ряд соответствует определенному возрасту, т. е. между ними существует определенная зависимость, к примеру, при длине 30 см и массе 320 г рипус, как правило, находится в возрасте 5+ (рыбе идет шестой год). Но для нахождения этой зависимости необходимо собрать хотя бы 20–30 экземпляров чешуи рыбы для координации возраста и размера рыбы при данном возрасте. На основании полученных результатов можно сделать график (рис. 4).

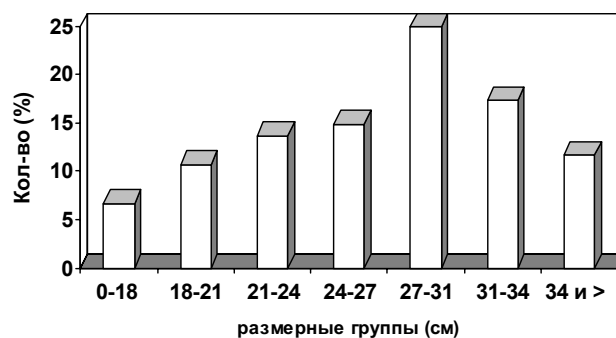


Рис. 4. ПРОЦЕНТНОЕ СООТНОШЕНИЕ РАЗМЕРНЫХ ГРУПП РИПУСА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА ПО ДАННЫМ УЛОВОВ ЗАКИДНЫМ НЕВОДОМ

Согласно рис. 4 модальной (наибольшей) размерной группой в процентном соотношении является 27–31 см. Согласно результатам работ М. Дятлова (Дятлов, 2002), данный размер может соответствовать возрасту 4–5+. Как известно, рипус созревает в возрасте 2–3+. Следовательно, основу популяции составляют половозрелые особи. Хотя сразу надо сказать, погрешность в определении возраста на основании массовых промеров хоть и небольшая, но возможна.

Лучше к массовому промеру следует прибегать, когда вы приблизительно знаете, какому

Таблица 1

РАЗМЕРНЫЕ ГРУППЫ РЯПУШКИ РИПУСА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Размер, см	0–18	18–21	21–24	24–27	27–31	31–34	34 и >
Количество, шт	13	21	27	29	49	34	23
Процентное соотношение	6,7	10,7	13,7	14,9	25	17,3	11,7

возрасту соответствует тот или иной размерный ряд или в случае, если вас интересуют только размерные ряды и их соотношение, что также является небольшой научной работой.

Определение возраста лучше производить в лабораторных условиях. Нужно начать с того, что перенести данные ихтиологической книжки либо на карточку, либо на компьютер. Если чешуя грязная (с засохшей слизью) и определение возраста невозможно (склериты на чешуе плохо просматриваются), с чешуи необходимо смывать слизь. При этом чешую помещают на несколько часов в разведенный нашатырный спирт (слабый раствор), после чего при необходимости очищают оставшуюся слизь тряпочкой или мягкой щеточкой. Чистые чешуйки помещаются между двумя препаратными стеклами в один или два параллельных ряда. Чешую просматривают через микроскоп или при помощи аппарата для просмотра микрофильмов. На первых этапах желательно исследование возраста рыб производить под руководством специалиста, либо при наличии литературы с подробным (с рисунками, схемами) пояснением.

Метод определения темпа роста рыбы основан на том, что между ростом чешуи существует определенная зависимость. Наиболее простой и широко применяемый метод норвежского ученого Эйнара Леа, основанный на прямой зависимости между ростом рыбы и чешуей, т. е. что приросты чешуи пропорциональны приростам рыбы. Следовательно, зная длину рыбы в определенном возрасте и расстояние между годовыми кольцами на чешуе, можно вычислить приросты за все предыдущие годы по формуле:

$$l_x = L \cdot C_x / C,$$

где L – длина рыбы; C – длина чешуи от центра до края, по которому определяется возраст; C_x – длина чешуи от центра до первого, второго и т. д. годового кольца; l_x – искомая длина рыбы. Теперь разберем это на примере. Длину

рыбы измеряют в см, длину же чешуи – в любых единицах (к примеру, в делениях окуляра микрометра).

Предположим, что длина рыбы пяти лет равна 30 см, а длина чешуи (рис. 5) от центра до края (AF) 40 делений окуляра микрометра, от центра до первого годового кольца (AB) 10 делений, до второго (AC) 18, до третьего (AD) 25, четвертого (AE) 34, пятого (AF) 40. Подставляем эти цифры в формулу, получаем в возрасте первого года (AB):

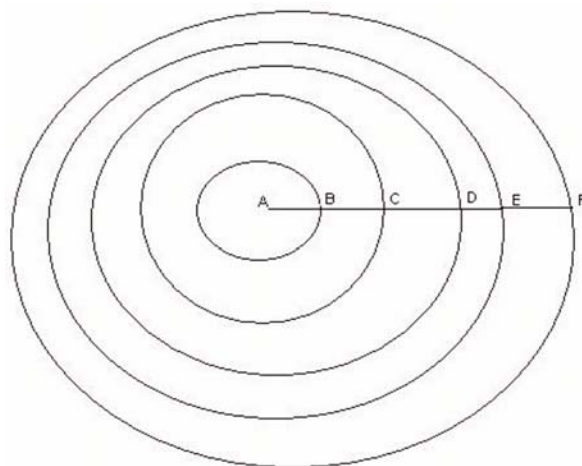


Рис. 5. СХЕМА ПРОМЕРОВ ЧЕШУИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПА РОСТА РЫБЫ

$l_{AB} = 30 \cdot 10 / 40 = 7,5$ см; далее второго – 13,5 см; для третьего – 18,7 см, четвертого – 25,5 см, пятого – 40 см. Теперь мы можем рассчитать темп роста рыбы: за первый год рыба подросла на 7,5 см; на втором $(13,5 - 7,5) = 6$; на третьем $(18,7 - 13,5) = 5,2$; на четвертом $(25,5 - 18,7) = 6,8$; на пятом $(30 - 25,5) = 4,5$ (рис. 6).

Подобным же образом (по той же формуле) можно охарактеризовать динамику и темп

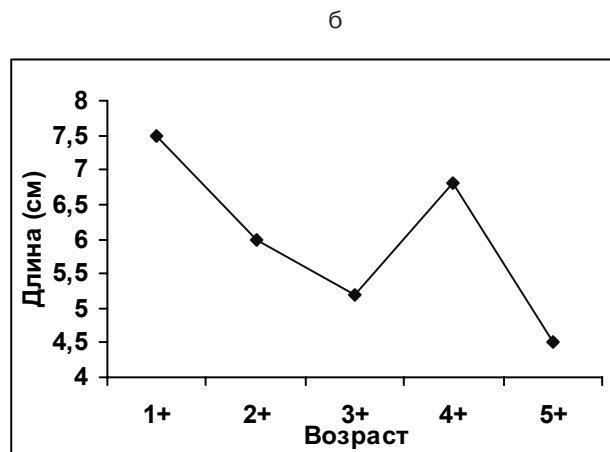
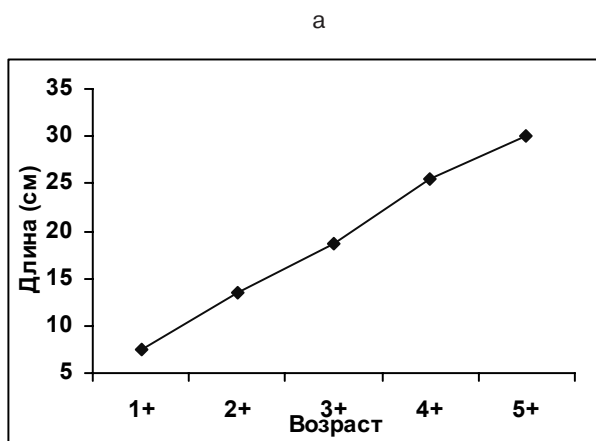


Рис. 6. ХАРАКТЕРИСТИКА ДИНАМИКИ ЛИНЕЙНОГО РОСТА (а) И ТЕМПА РОСТА (б) РИПУСА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

весового роста. Предположим, что наш рипус при длине 30 см имеет массу 320 г. Получаем: в возрасте первого года $m_{\text{ДВ}} = 320 \cdot 10 / 40 = 80$ г; на втором 144 г; на третьем 200 г; на четвертом 272; на пятом 320 г. Темп роста определяем так же, как и при линейном росте (рис. 7).

Как можно заметить, кривые графиков динамики весового и линейного роста, а также и темпы роста похожи, отличия заключаются только в шкалах (длина и масса).

В результате мы сможем проследить динамику размерно-возрастных характеристик рыбы, в нашем случае рипуса северной части Ладожского озера (табл. 2).

Плодовитость рыб определяется путем подсчета икринок, содержащихся в яичнике самки рыбы. Различают абсолютную (количество икринок, выметанных самкой за один нерестовый период) и относительную (количество икринок, приходящихся на единицу веса самки) плодовитость. Кроме того, выделяют рабочую плодовитость (количество икры, идущее для целей

искусственного оплодотворения), но она используется крайне редко и в основном рыболовами. Нас же как ихтиологов прежде всего интересует абсолютная плодовитость. Для этого берутся яичники самки незадолго до нереста, в IV стадии зрелости (икринки крупные, при надавливании вытекают; при разрезе яичника и скоблении ножницами разреза икринки легко соскабливаются по одиночке). Более зрелые для этой цели непригодны, так как нет уверенности, что часть икры уже не была выметана. Лучше брать два яичника, которые на месте сбора заворачиваются в марлю, вместе с этикеткой; на этикетке указывается: название рыбы, номер по чешуйной книжке. Фиксировать икру следует в 2%-м растворе формалина. При этом необходимо предохранять икру от сдавливания (могут лопнуть икринки).

Определение плодовитости, как правило, производится в лабораторных условиях или, если полевая работа ведется стационарным путем, в свободное от полевых исследований

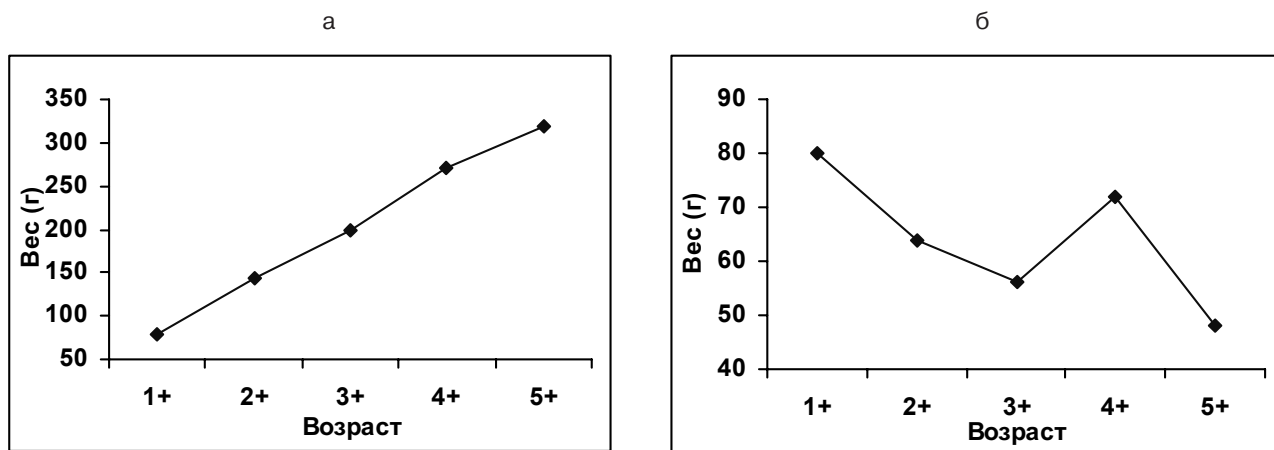


Рис. 7. ХАРАКТЕРИСТИКА ДИНАМИКИ ВЕСОВОГО РОСТА (а) И ТЕМПА РОСТА (б) РИПУСА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Таблица 2
РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНОЙ СОСТАВ РИПУСА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Годы	Возрастные группы							n
	0+	1+	2+	3+	4+	5+	6+	
	Количество в уловах, %							
2000	0,9	8,7	29,2	51,7	7,1	1,9	0,5	200
2001	0,2	1,2	19,5	68,7	10,1	0,5	0,1	200
2002	0,6	3,2	6,3	61,7	24,8	2,3	1,1	200
	М а с с а, г							
2000	8	24	61	96	235	314	435	
2001		43	66	111	289	360	451	
2002	7	19	75	119	296	367	382	
	Д л и н а АС, см							
2000	9,5	13,2	18,5	21,5	24,1	26,5	31,5	
2001		16,8	18,9	22,3	25,4	29,4	32,2	
2002	9,2	12,9	19,7	22,4	26,2	27,9	30,2	
	Д л и н а АД, см							
2000	9,0	12,8	18,0	21	23,5	26	30,4	
2001		16,2	18,3	21,9	24,9	28,7	31	
2002	8,7	12	18,9	21,7	25,5	27,0	29,4	

время. Зафиксированную икру освобождают от оболочек и от возможно прилипшей к ней грязи. Затем просушивают фильтровальной бумагой, взвешивают с точностью до 0,01 г и берут от нее навеску обычно от 1 до 10 г в зависимости от размеров икринок. Навеску следует брать из разных частей икринок. Икра подсчитывается под лупой в чашке Петри или на плоском блюде, лучше перед просчетом ее немного смочить. Количество икринок в 1 г умножаем на полный вес икры и получаем абсолютную плодовитость. В нашем случае в 1 г навески икры получилось 93 икринки, а полный вес икры (рис. 2) 215 г, т. е. $93 \cdot 215 = 19995$ икр. Относительная плодовитость, следовательно (рис. 3), $19995 / 320 = 63$. Плодовитость лучше собирать у самок различных размеров (с возрастом плодовитость меняется) (Никольский, 1953). Таким образом, мы сможем проследить, как она меняется с возрастом. Упитанность рыб наиболее просто определяется по формуле Фультона:

$$K_{\text{Фультон}} = Q \cdot 100 / L^3,$$

где Q – полный вес рыбы в граммах, L^3 – куб длины рыбы (без хвостового плавника пример AD) (рис. 2). Таким образом, упитанность нашей рыбешки (рис. 1) $320 \cdot 100 / 27,7^3 = 32000 / 21254 = 1,5$.

Существует еще один способ исследования упитанности – по Кларку. Отличие от Фультона, что по Кларку, назовем это Q_2 – масса рыбы без внутренностей, по той же формуле.

$$K_{\text{Кларк}} = Q_2 \cdot 100 / L^3$$

Подобные исследования следует проводить ежегодно. Кроме того, можно привлекать сюда данные за прошлые годы и таким образом проследить изменения размерно-весовой характеристики выбранной вами рыбы в ретроспек-

тивном аспекте (табл. 2). Также можно сравнивать результаты ваших исследований по выбранному вами виду рыб с результатами работ по этому же виду, но с других водоемов.

Заключение

Данные методики являются важными и при этом не очень трудоемкими. Поэтому их можно рекомендовать для проведения факультативных занятий по биологии. Кроме того, часть плана, связанного с выловом рыбы, можно заменить элементарной покупкой этой рыбы на рынке или у рыбаков, что, без сомнения, способствует более полному и детальному изучению выбранного вами объекта. На наш взгляд, подобные работы могут заложить интерес к исследовательской деятельности. На первых этапах можно данную работу выполнять парами или даже группами под руководством преподавателя, а когда появится навык, можно переходить к индивидуальной исследовательской деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

- Дгебуадзе Ю. Ю. Экологические закономерности изменчивости роста рыб. М., 2001. 274 с.
 Дятлов М. А. Рыбы Ладожского озера. Петрозаводск, 2002. 280 с.
 Мина М. В. Задачи и методы изучения роста рыб в природных условиях // Современные вопросы ихтиологии. М., 1981. С. 177–193.
 Никольский Г. В. О некоторых закономерностях динамики плодовитости рыб // Очерки по общим вопросам ихтиологии. М.; Л., 1953. С. 199–206.
 Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М., 1966. 376 с.
 Решетников Ю. С. Экология и систематика сиговых рыб. М., 1980. 300 с.

СЛОВАРЬ используемых терминов

Вид длинноцикловый – вид, средняя продолжительность жизненного цикла которого превышает 15 лет (сом, лещ, осетр).

Вид короткоцикловый – вид, средняя продолжительность жизненного цикла которого не превышает 5 лет (ряпушка, корюшка).

Вид среднецикловый – вид, средняя продолжительность жизненного цикла которого находится в пределах 6–15 лет.

Возраст рыб (t) – число полных лет жизни. Обозначается арабской цифрой. Возраст сеголетка обозначается – 0+.

Динамика численности популяции – изменение численности популяции под влиянием действующих на нее факторов; закономерности динамики численности служат основой долгосрочного прогнозирования уловов.

Длина рыб средняя (L) – показатель, характеризующий линейный размер рыб в возрастной группе, улове или водоеме. Определяется как средневзвешенная величина с учетом объема выборки. Обычно измеряется длина тела от конца рыла до заднего края чешуйного покрова (промысловая длина) или до основания средних лучей хвостового плавника (длина по Смитцу).

Длина тела – различают следующие основные три параметра длины тела:

- Абсолютная длина (AB) (полная длина) – расстояние от вершины рыла до перпендикуляра, восстановленного от конца самой длинной лопасти хвостового плавника.

- Длина тела (AD) – расстояние от конца рыла до основания хвостового плавника, у чешуйчатых рыб – это конец чешуйчатого покрова.

- Длина тела по Смиту (AC) – у лососевых и некоторых сельдевых длина до конца средних лучей хвостового плавника.

Жаберная крышка – костная крышка, закрывающая жаберную полость. Состоит обычно из четырех костей: крышечной (operculum), подкрышечной (suboperculum), предкрышечной (praeperculum), межкрышечной (interoperculum). В систематике большое значение имеют расположение и форма шипов на предкрышке.

Ихтиология (от греч. ichthys – рыба и ... логия) – раздел зоологии, изучающий рыб и круглоротых. Ихтиология – основа рационального рыболовства и рыбоводства.

Класс годовой – рыбы, появившиеся на свет в данном году. В случае если нерест происходит осенью, а выклев весной, календарный год выклева обычно используется для определения годового класса.

Сеголеток – малек в возрасте менее года, так называемой нулевой (0+) группы.

Чешуя – наружный покров рыб. Бывают рыбы с мелкой, средней и крупной чешуей, что определяется соотношением диаметра чешуи и размеров тела. Различают следующие виды чешуи, что является важнейшим систематическим признаком:

- Циклоидная чешуя – тонкие округлые костные пластинки;
- Ктеноидная чешуя – более плотные пластинки с зубчиками на свободном (заднем) крае;

- Ганоидная чешуя – ромбовидные пластинки, снаружи покрытые твердым блестящим слоем эмалеподобного дентина – ганоина. Наиболее примитивный вид ганоидной чешуи – космоидная. Космоидная чешуя представляет собой костные диски, наружная поверхность которых покрыта группами бугорков космина, дентиноподобного костного вещества, пронизанного ветвящимися каналами.

- Плакоидная чешуя – пластинки с зубчиками.

РЕКОНСТРУКЦИЯ И АНАЛИЗ ВНУТРИВЕКОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГODOVOЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ПРИ ОТСУТСТВИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ (на примере г. Питкяранты)

Ю. А. Сало, М. В. Емельянова

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН
Карельский государственный педагогический университет*

ВВЕДЕНИЕ

Проблема изменения глобального климата в настоящее время является одной из наиболее актуальных и интенсивно исследуемых экологических проблем. Активно изучаются причины этого явления, разрабатываются математические модели реакции экосистем на изменения глобального, регионального и локального климата, возможные в ближайшем будущем; при этом в качестве основной климатической характеристики рассматривается средняя годовая температура воздуха и исследуется ее динами-

ка за многолетний период времени. Анализ изменчивости климата Карелии посвящено много исследований (Климат..., 2004; Назарова и др., 2001; Филатов, 1997). Несколько опубликованных ранее работ содержат практические рекомендации по простейшему анализу локального климата, которые могут быть использованы в спецкурсах по экологии, при выполнении студенческих и школьных исследовательских проектов, курсовых и дипломных работ (Сало, 1999; Сало, Назарова, 2003).

В данной статье рассмотрена одна из наиболее сложных ситуаций при изучении измен-

чивости местного климата, когда в исследуемом пункте отсутствуют регулярные и продолжительные метеорологические наблюдения. На примере реконструкции хронологического ряда годовой температуры воздуха г. Питкяранты показано, как практически получить исходную информацию, выполнить приведение рассчитанного ряда к многолетнему периоду, выполнить простейший статистический анализ изменчивости годовой температуры воздуха в исследуемом пункте.

1. Материалы и методы исследования

1.1. Восстановление данных о годовой температуре воздуха при отсутствии данных наблюдений

При исследовании внутривековых изменений годовой температуры воздуха необходимо иметь хронологический ряд ежегодных значений этой характеристики в исследуемом пункте или районе. Возможны следующие ситуации:

1. Если в расчетном пункте имеется продолжительный (сто лет и более) ряд непрерывных наблюдений, то для анализа используется непосредственно данный ряд.

2. Если ряд наблюдений имеется, но он недостаточно продолжительный (менее 10–20 лет), то необходимо его удлинить, используя данные ближайших пунктов наблюдений с более продолжительными наблюдениями.

3. При отсутствии в исследуемом пункте метеостанции нужно реконструировать необходимый хронологический ряд, используя метод метеорологической аналогии.

Перечень метеостанций, расположенных на территории Республики Карелия, их координаты и периоды наблюдений за основными характеристиками климата приведены в работах (Сало 1999; Филатов, 1997).

Выберем три наиболее близко расположенные к расчетному пункту (РП) метеостанции с периодом совместных наблюдений 40 лет и более. На рис. 1 показана схема расположения метеостанций и РП.

Расстояния L_1 , L_2 и L_3 можно определить по карте Карелии (Атлас., 1989). Вычисление годовых значений температуры воздуха в расчетном пункте за период совместных наблюдений на трех станциях выполняется по формуле:

$T_{РП} = C_1 T_{МС1} + C_2 T_{МС2} + C_3 T_{МС3}$, (1)
где весовые коэффициенты для каждой станции определяются как

$$C_1 = \frac{L_2 L_3}{L_1 L_2 + L_2 L_3 + L_1 L_3}, \quad (2)$$

$$C_2 = \frac{L_1 L_3}{L_1 L_2 + L_2 L_3 + L_1 L_3}, \quad (3)$$

$$C_3 = \frac{L_2 L_1}{L_1 L_2 + L_2 L_3 + L_1 L_3}. \quad (4)$$

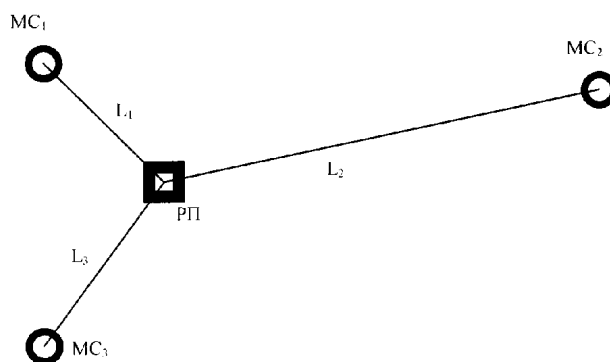


Рис. 1. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ МЕТЕОСТАНЦИЙ-АНАЛОГОВ И РАСЧЕТНОГО ПУНКТА (РП)

Правильность вычисления коэффициентов проверяют по формуле:

$$C_1 + C_2 + C_3 = 1.$$

Смысл введения весовых коэффициентов в формулу (1) заключается в том, что чем ближе метеостанция расположена к расчетному пункту, тем сильнее связана температура воздуха в РП с температурой на данной станции и, соответственно, выше ее весовой коэффициент.

Таким образом, по имеющимся рядам годовой температуры воздуха по трем станциям по формуле (1) вычисляются значения годовой температуры в расчетном пункте для каждого года совместного периода (Сало, 1999).

1.2. Удлинение хронологического ряда годовой температуры

Обычно реконструированный хронологический ряд годовой температуры имеет длину 40–50 лет, что недостаточно для анализа внутривековых изменений этой важной характеристики климата. Поэтому, применяя метод аналогии, необходимо удлинить полученный ряд, используя наиболее продолжительные (не менее 100 лет) климатические ряды по станциям-аналогам. Для территории Карелии в качестве ряда-аналога можно взять один из рядов среднегодовой температуры по метеостанциям Петрозаводск, Лоухи, Олонец, Пудож и др., или ряд значений годовой температуры для Карелии в целом, рассчитанный в ИВПС КарНЦ РАН за период с 1880 г. по настоящее время (Филатов, 1997).

Пусть по формуле (1) для исследуемого пункта получен ряд годовой температуры воздуха за период времени t_1 и подобран ряд-аналог с более продолжительным периодом наблюдений $t_1 + t_2$.

Вначале для периода t_1 устанавливается связь годовой температуры воздуха в РП и на станции-аналоге и находят коэффициенты уравнения связи

$$T_{РП} = A + B \cdot T_a, \quad (5)$$

где $T_{РП}$ и T_a – годовая температура воздуха соответственно в расчетном пункте и на станции-

аналоге для каждого года периода t_1 , A и B – коэффициенты, рассчитываемые по методу наименьших квадратов (например, с использованием программ EXCEL или STATISTICA).

Затем, используя уравнение связи (5), вычисляются значения годовой температуры воздуха в РП для каждого года за период t_2 . Таким образом, используя указанный метод, получаем хронологический ряд температуры воздуха для расчетного пункта длиной $(t_1 + t_2) > t_1$.

1.3. Оценка внутривековых изменений температуры воздуха в расчетном пункте

После того как хронологический ряд годовой температуры воздуха необходимой длины получен, можно выполнить анализ его изменчивости, вычислить основные статистические характеристики (среднее многолетнее значение годовой температуры воздуха, максимальная и минимальная годовая температура воздуха), а также оценить тенденцию изменения годовой температуры воздуха в РП на протяжении рассматриваемого периода.

Основная расчетная формула для оценки тенденции (линейного тренда) годовой температуры воздуха имеет вид

$$T = a \cdot t + b, \quad (6)$$

где T – годовая температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$, t – порядковый номер года в хронологическом ряду, a и b – численные коэффициенты.

Наибольший интерес в уравнении (6) представляет коэффициент линейного тренда (a), который и характеризует тенденцию (тренд) изменения годовой температуры воздуха в исследуемом пункте за рассматриваемый период. При $a > 0$ тренд положительный (т. е. за рассматриваемый период годовая температура воздуха имеет тенденцию к росту, наблюдается общее потепление), при $a < 0$ наблюдается общее похолодание, при $a = 0$ тренд отсутствует. Численная величина коэффициента a ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) характеризует темп потепления (похолодания).

Например, для показанного на рис. 2 хронологического ряда глобальной температуры

воздуха за период 1880–2000 гг. (<http://www.cru.uea.ac.uk>; Сало, 2003), уравнение линейного тренда (6) имеет вид

$$T = 0,005 \cdot t + 14,8, \quad (7)$$

В данном случае $a = 0,005$, т. е. глобальная температура воздуха за период 1880–2000 гг. имела положительную тенденцию, наблюдалось глобальное потепление, а его скорость составила $0,005^{\circ}\text{C}/\text{год}$ или $0,5^{\circ}\text{C}$ за 100 лет.

2. Реконструкция ряда годовой температуры воздуха г. Питкяранты за период 1900–2000 гг.

В Питкяранте метеорологические наблюдения не проводились, поэтому для получения хронологического ряда годовой температуры воздуха необходимо использовать подход, указанный в п. 3. раздела 1.1.

В качестве метеостанций-аналогов выберем ближайшие к нашему расчетному пункту метеостанции – Олонец (МС1), Суоярви (МС2), Сортавала (МС3). Схема расположения станций показана на рис. 3. Данные по годовой температуре воздуха за совместный период наблюдений 1945–2002 гг. были взяты из климатической базы данных ИВПС КарНЦ РАН.

Как показал анализ совмещенных графиков (рис. 4), годовая температура воздуха во всех трех пунктах изменялась синхронно, что можно объяснить близостью расположения метеостанций, влиянием сходных атмосферных процессов и однородностью физико-географических условий в районе расположения станций.

Используя данные рядов-аналогов и формулы (1)–(4), рассчитаем хронологический ряд годовой температуры воздуха г. Питкяранты за период 1945–2002 гг.

По карте (рис. 2) вычислим расстояние от РП до каждой станции, необходимое для расчета весовых коэффициентов в формуле (1): $L_1 = 45$ км, $L_2 = 75$ км и $L_3 = 102$ км. С учетом этого рассчитаем значения весовых коэффициентов для станций по формулам (2)–(4): для МС1

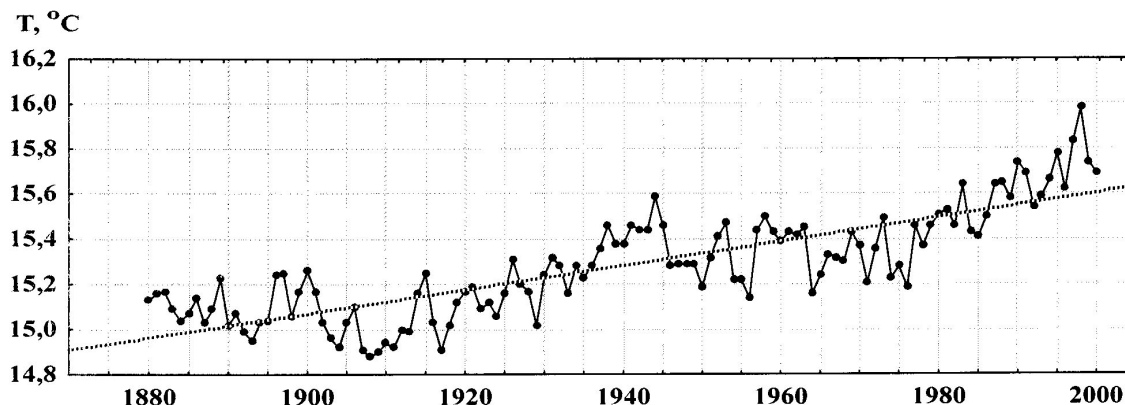


Рис. 2. ИЗМЕНЕНИЕ ГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ЦЕЛОМ ПО ЗЕМНОМУ ШАРУ ЗА ПЕРИОД 1880–2000 гг. (<http://www.cru.uea.ac.uk>)

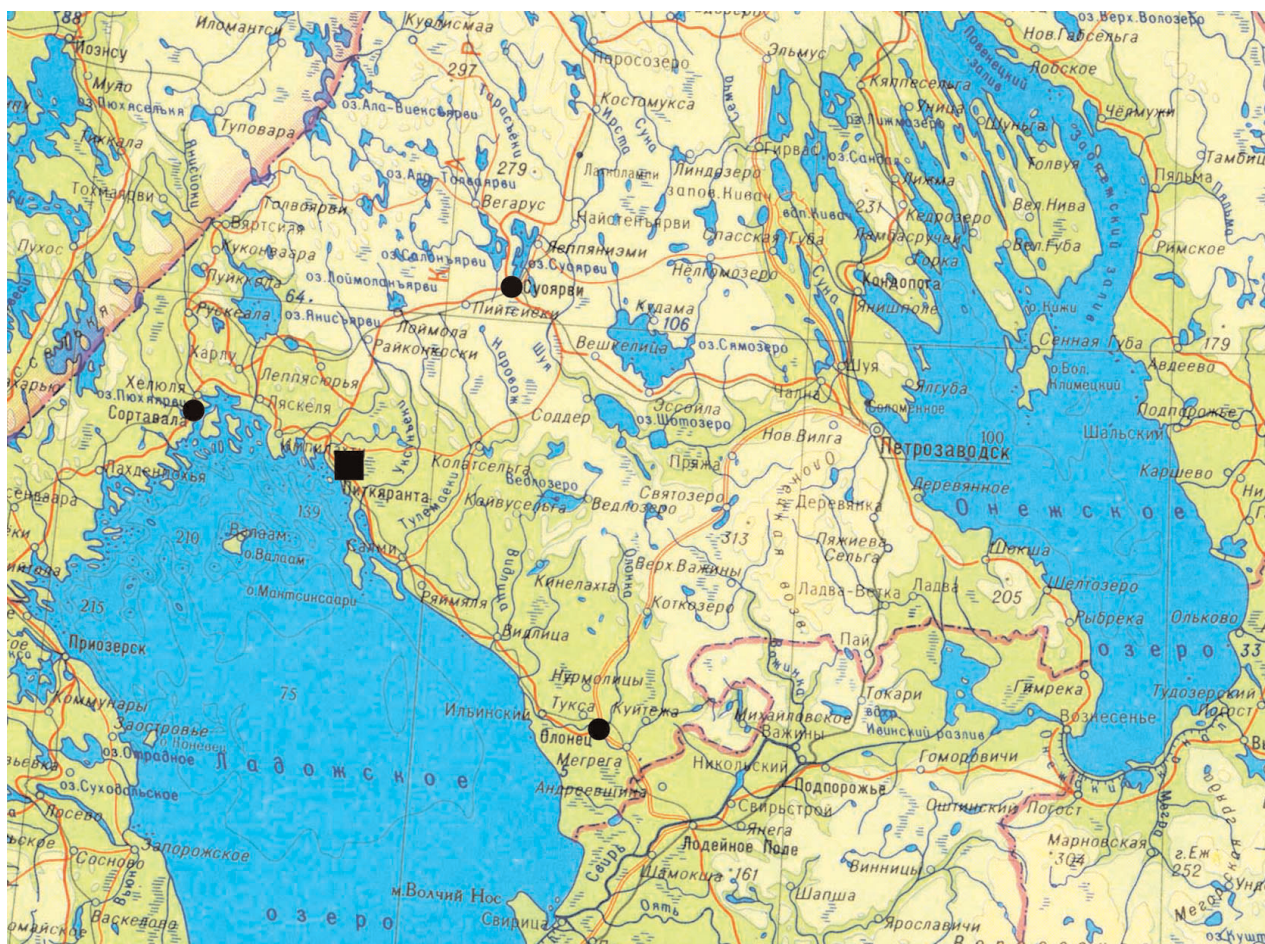


Рис. 3. КАРТА-СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ МЕТЕОСТАНЦИЙ-АНАЛОГОВ И РАСЧЕТНОГО ПУНКТА (Атлас., 1989)

Сортавала $C_1 = 0,49$, для МС2 Суоярви $C_2 = 0,29$, для МС3 Олонец $C_3 = 0,22$.

В окончательном виде получено следующее расчетное уравнение:

$$T_{РП} = 0,49T_{МС1} + 0,29T_{МС2} + 0,22T_{МС3}. \quad (8)$$

По этому уравнению рассчитан необходимый ряд годовой температуры воздуха г. Питкяранты за период 1945–2002 гг. (рис. 5).

Полученный 58-летний ряд не является достаточно продолжительным, чтобы оценить колебание годовой температуры воздуха в РП в течение всего XX в., поэтому необходимо удлинить ряд до 1900 года, используя данные по г. Петрозаводску. Используя рассчитанный ряд по городам Питкяранта и Петрозаводск за период 1945–2002 гг. с помощью ППП STATISTICA, уравнение связи получено в виде

$$T_{РП} = 0,262 + 0,976 \cdot T_{ПТЗ}. \quad (9)$$

На рис. 6 показан ряд годовой температуры воздуха г. Питкяранты за период с 1900 по 1999 г., значения ТРП за 1900–1944 гг. рассчитаны по уравнению (9) по данным МС Петрозаводск. В окончательном виде таблица рассчитанных значений среднегодовой температуры воздуха г. Питкяранты за период 1900–2002 гг. приведена в табл. 1.

3. Изменение годовой температуры воздуха г. Питкяранты на протяжении XX в.

По полученному ряду (рис. 5, табл. 1) оценены основные статистические характеристики годовой температуры воздуха г. Питкяранты за 100-летний период, с 1900 по 1999 г. За указанный период среднегодовая температура воздуха (норма) составляет $+2,8^\circ\text{C}$. Самыми холодными были 1941 ($+0,3^\circ\text{C}$) и 1902 гг. ($+0,4^\circ\text{C}$), самым теплым был 1989 г. ($+5,3^\circ\text{C}$).

В целом за 100-летний период годовая температура воздуха г. Питкяранты не имела заметной тенденции к потеплению или похолоданию, уравнение линейного тренда получено в виде

$$T = 0,0002 \cdot t + 2,79.$$

Коэффициент линейного тренда имеет положительную величину, но по сравнению с коэффициентом линейного тренда уравнения (1) тенденция к потеплению практически не наблюдается: для г. Питкяранты величина тренда составляет всего $0,02^\circ\text{C}/100$ лет, что на порядок ниже точности годовой температуры воздуха, равной $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

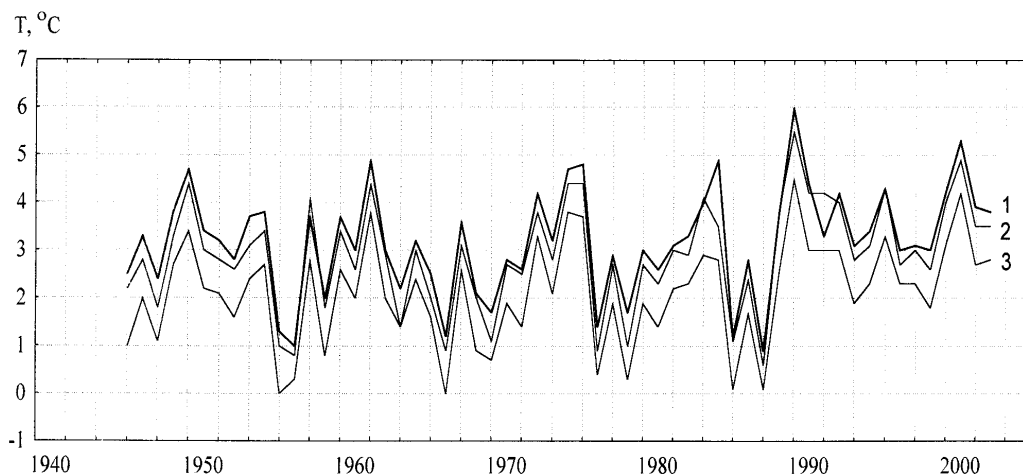


Рис. 4. СОВМЕЩЕННЫЕ ХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ГРАФИКИ ГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ЗА СОВМЕСТНЫЙ ПЕРИОД НАБЛЮДЕНИЙ (1 – МС Сортавала, 2 – МС Олонец, 3 – МС Суоярви)

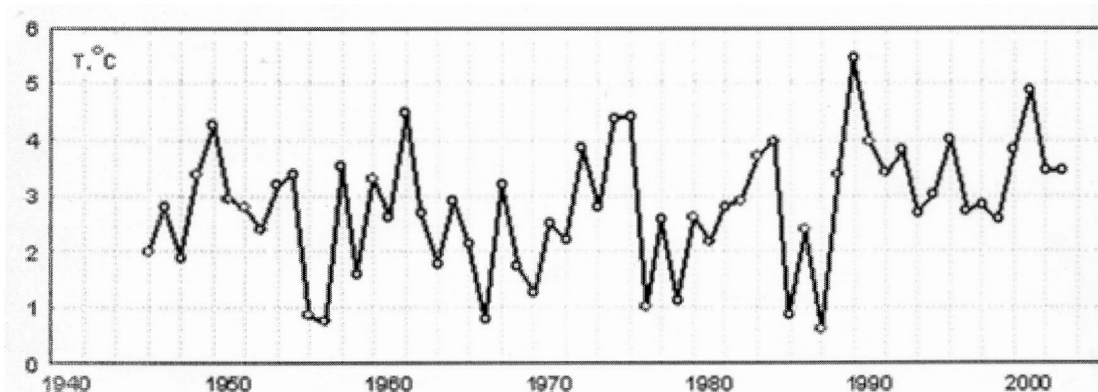


Рис. 5. ХРОНОЛОГИЧЕСКИЙ РЯД ГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА Г. ПИТКЯРАНТЫ ЗА ПЕРИОД 1945–2002 гг., РЕКОНСТРУИРОВАННЫЙ ПО МЕТЕОСТАНЦИЯМ-АНАЛОГАМ

Таблица 1

РЕКОНСТРУИРОВАННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СРЕДНЕГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА Г. ПИТКЯРАНТЫ
ЗА ПЕРИОД 1900–2002 гг. ПО МЕТОДУ АНАЛОГИИ ПО ТРЕМ СТАНЦИЯМ (выделено курсивом)
И ПО МЕТЕОСТАНЦИИ-АНАЛОГУ ПЕТРОЗАВОДСК

Год	...0	...1	...2	...3	...4	...5	...6	...7	...8	...9
1900	2,1	2,6	0,4	3,7	2,4	3,6	3,5	1,9	2,7	2,9
1910	4,0	3,2	2,2	3,7	4,0	2,0	3,4	2,2	2,0	2,0
1920	4,5	3,6	2,6	2,4	2,6	3,5	1,5	1,5	2,9	2,2
1930	3,6	2,9	4,1	2,6	4,9	3,7	4,2	4,2	4,8	2,9
1940	1,4	0,3	0,8	4,0	3,6	1,8	3,1	2,1	3,6	4,6
1950	3,2	3,3	2,4	3,0	3,3	0,9	1,0	3,5	1,4	3,4
1960	2,6	4,3	2,8	2,1	2,9	2,2	0,6	3,4	1,6	1,1
1970	2,5	2,0	3,8	2,7	4,4	4,3	1,2	2,6	0,9	2,6
1980	2,2	3,2	3,1	3,9	3,5	0,8	2,4	0,8	3,2	5,3
1990	3,6	3,6	3,8	2,4	2,8	4,1	2,9	2,7	2,3	3,5
2000	4,9	3,5	3,4							

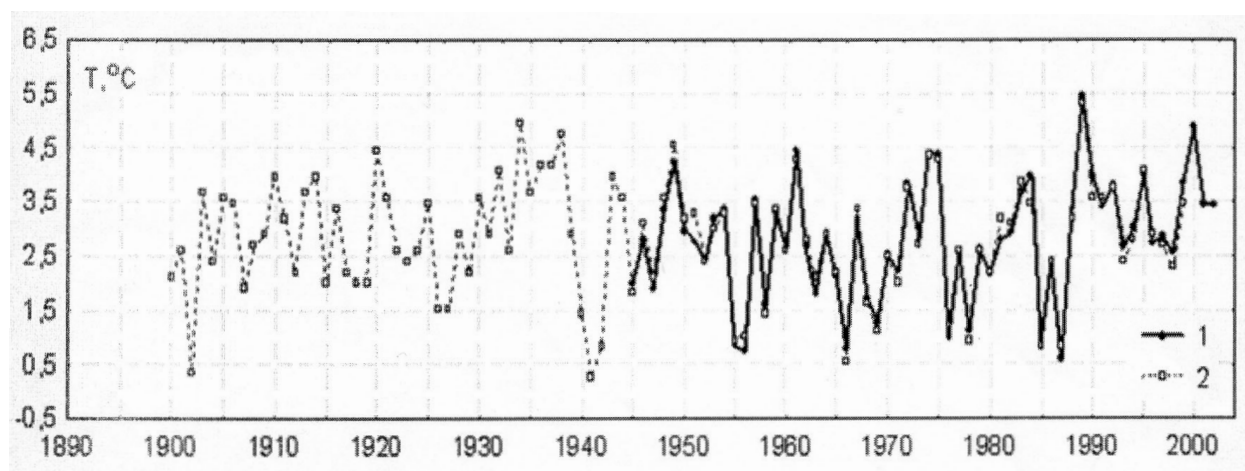


Рис. 6. СОВМЕЩЕННЫЙ ГРАФИК ГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА г. ПИТКЯРАНТЫ,
РЕКОНСТРУИРОВАННЫЙ ПО ТРЕМ МЕТЕОСТАНЦИЯМ (1) И УДЛИНЕННЫЙ
ПО МЕТЕОСТАНЦИИ ПЕТРОЗАВОДСК (2)

Вместе с тем за последние 30 лет наблюдается значительное потепление как для земного шара в целом, так и для отдельных регионов и пунктов (Климат..., 2004; Назарова и др., 2001). За период с 1970–1999 гг. мы получили следующее значение коэффициентов линейного тренда годовой температуры воздуха: для земного шара в целом + 0,54 °C/30 лет; для территории Карелии в целом + 0,75 °C/30 лет; для г. Питкяранты + 0,48 °C/30 лет, что можно объяснить заметным изменением глобального климата по причине естественных его колебаний и, возможно, вследствие антропогенного влияния.

Помимо линейного тренда, в геофизических рядах за многолетний период выделяются квазипериодические составляющие. Для их выявления существует много методов: анализ автокорреляционных функций, метод спектрального анализа, вейвлет-анализ и др. Однако эти методы сложные, поэтому в данной работе был использован самый простой метод – метод скользящих средних. Он заключается в следующем: а) выбирается пери-

од сглаживания в N лет; б) из исходного ряда выбирается N первых значений (T_1, T_2, \dots, T_N), далее вычисляем среднее из них и относим это значение к середине выбранного периода; в) выбираем следующий, со сдвигом в один год период (T_2, T_3, \dots, T_{N+1}), вычисляем для него среднее значение температуры и относим это значение к середине данного интервала. Таким образом, после вычисления по всему исходному ряду мы получаем новый ряд, состоящий из средних по N -летиям значений годовой температуры воздуха. При таком осреднении сглаживаются межгодовые колебания температуры воздуха и более четко выявляются низкочастотные квазипериодические компоненты исходного ряда. Обычно период сглаживания N выбирается нечетным, равным 3, 5, 7 и т. д. годам. В данном случае мы выбрали период сглаживания $N = 5$, расчет выполняли с помощью ППП EXCEL. В табл. 2 приведены данные по выявленным периодам внутривековых колебаний температуры воздуха г. Питкяранты, на рис. 7 показан исходный и сглаженный по скользящим пятилетиям исследуемый ряд.

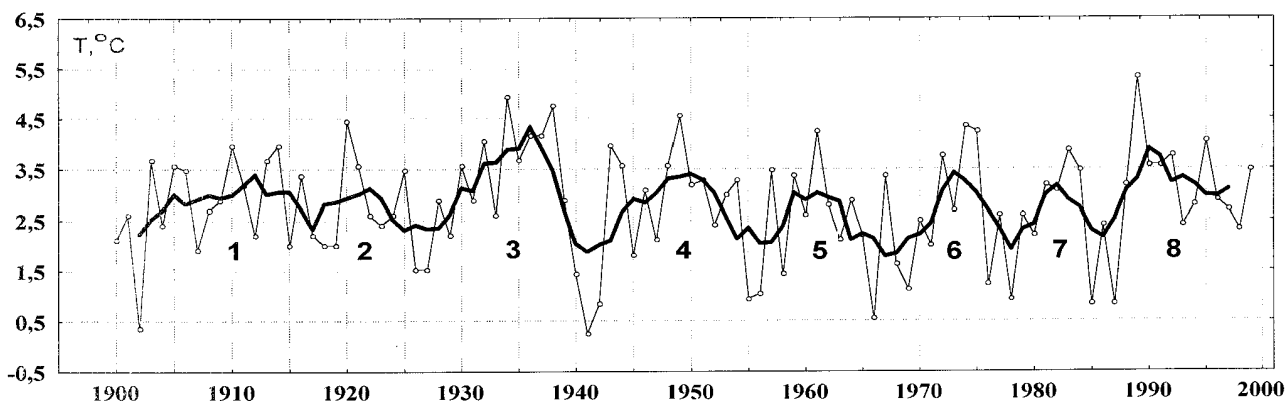


Рис. 7. ГРАФИК ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА г. ПИТКЯРАНТЫ, СГЛАЖЕННЫЙ ПО МЕТОДУ СКОЛЬЗЯЩИХ СРЕДНИХ С ПЕРИОДОМ СГЛАЖИВАНИЯ $N = 5$ ЛЕТ

Таблица 2
ПЕРИОДЫ ИЗМЕНЕНИЯ ГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА г. ПИТКЯРАНТЫ В XX В.

N	Период	Год максимума	Продолжительность периода, годы
1	1902–1918	1912	17
2	1918–1926	1922	9
3	1926–1941	1936	16
4	1941–1955	1950	15
5	1955–1967	1959	13
6	1967–1978	1973	12
7	1978–1986	1982	9
8	1986–1997	1990	12

Среднее значение продолжительности периода равно 12,9 года. Это значение почти совпадает с солнечным циклом, равным в среднем 11 годам. Самым длительным является период N1, он равен 17 годам. Самые короткие по длительности периоды N2 и N7, они равны 9 годам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был практически реализован метод реконструкции среднегодовой температуры воздуха в пункте, не имеющем метеостанции. В результате получен хронологический ряд годовой температуры воздуха г. Питкяранты за период с 1900 по 2002 гг. с использованием данных инструментальных наблюдений по метеостанциям Роскомгидромета (Суоярви, Сортавала, Олонец, Петрозаводск).

В результате анализа определены основные статистические характеристики полученного 103-летнего ряда: норма (среднее многолетнее значение годовой температуры воздуха) равна $+2,8^{\circ}\text{C}$, самыми холодными были 1941 ($+0,3^{\circ}\text{C}$) и 1902 гг. ($+0,4^{\circ}\text{C}$), самым теплым был 1989 г. ($+5,3^{\circ}\text{C}$). Установлено, что в отличие от температуры воздуха всего земного шара в целом, в г. Питкяранте не выявлена положительная тенденция увеличения годовой

температуры воздуха. Рассчитанный по ряду 1900–1999 гг. коэффициент линейного тренда равен всего $0,02^{\circ}\text{C}/100$ лет, что на порядок ниже точности годовой температуры воздуха, равной $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Это подтверждает отмеченные многими исследователями особенности локальных изменений климата, связанные с физико-географическими условиями и географическим положением исследуемого пункта.

В результате выполнения работы исследована также внутривековая изменчивость анализируемого ряда. Для этого был использован метод скользящего сглаживания. В результате его применения установлена определенная ритмичность изменения годовой температуры воздуха в исследуемом пункте. Всего за 100-летний период было выявлено 8 периодов со средней продолжительностью 12,9 года. Самым длительным является период 1902–1918, он равен 17 годам. Самые короткие (по девять лет) по длительности периоды 1918–1926 и 1978–1986 гг.

Использованный в работе метод аналогии может быть применен также для расчета других характеристик климата и увлажненности для пунктов, в которых регулярные метеорологические наблюдения не проводятся или являются непродолжительными.

Опыт использования метода аналогии может быть применен при выполнении школьных научных исследований, в спецкурсах по географии, краеведению и экологии.

ЛИТЕРАТУРА

- Атлас Карельской АССР. М., 1989. С. 8.
Климат Карелии: изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы. Отв. Редактор Н. Филатов. Петрозаводск, 2004. 224 с.
Назарова Л. Е., Сало Ю. А., Филатов Н. Н. Изменение климата и водные ресурсы Восточной Финляндии. Препринт докл. На заседании Президиума КарНЦ РАН 27.02.2001 г. Петрозаводск, 2001. 36 с.
Сало Ю. А. Исследование локальных проявлений

потепления климата на территории Карелии // Экологические исследования природных вод Карелии. Петрозаводск, 1999. С. 17–21.

Сало Ю. А., Назарова Л. Е. Практические исследования изменчивости годовой температуры воздуха на территории Карелии // Водная среда Карелии:

исследования, использование и охрана. Петрозаводск, 2003. С. 88–91.

Филатов Н. Н. Изменения климата Восточной Фенноскандии и уровня воды крупнейших озер Европы. Петрозаводск, 1997. 147 с.

<http://www.cru.uea.ac.uk>.

СЛОВАРЬ используемых терминов

Коэффициент (линейного) тренда – численная величина, характеризующая направленность и среднюю скорость изменения хронологического ряда некоторой метеорологической характеристики на протяжении всего периода. Положительные (отрицательные) значения коэффициента л. т. указывают на общее увеличение (снижение) величины метеорологической характеристики. Коэффициент л. т. является размерной величиной (например, °С/год для хронологического ряда годовой температуры воздуха, мм/год для ряда годовой суммы осадков).

Метеостанция (метеорологическая станция) – пункт для производства комплекса метеорологических наблюдений в установленные сроки и в определенной последовательности. Метеостанция состоит из метеорологической площадки, где расположены основные приборы для метеорологических наблюдений и отапливаемого здания, где устанавливаются барометры и барографы, содержится запасной инвентарь и ведется обработка наблюдений.

Метод аналогии – способ приближенной оценки характеристик метеорологического режима в пункте или районе, не имеющем метеостанций, основанный на подборе наиболее близко расположенных к пункту (району) метеостанций, ведущих наблюдения за требуемым элементом и находящихся в сходных с неизученным пунктом (районом) физико-географических условиях.

Норма – среднее значение метеорологической характеристики за многолетний период такой продолжительности, при увеличении которой среднее значение существенно не меняется (напр., норма температуры воздуха, норма осадков).

Ряд наблюдений – последовательность (в хронологическом порядке) наблюдений в некотором месте значений того или иного метеорологического элемента или вычисленных из наблюдений средних величин (суточных, декадных, месячных, годовых и т. д.) этого элемента. Синонимы: хронологический ряд, динамический ряд, вариационный ряд.

Ряд-аналог – хронологически упорядоченная последовательность значений метеорологической характеристики, полученная по результатам наблюдений на станции-аналоге. Используется для расчетов значений метеорологической характеристики в расчетном пункте по методу аналогии.

Станция-аналог – метеостанция, данные наблюдений на которой используются для вычисления значений метеорологической характеристики в исследуемом (расчетном) пункте с коротким рядом наблюдений или не имеющем наблюдений. Основные требования к станции-аналогу – сходность физико-географических условий по отношению к расчетному пункту и существенно более продолжительный период наблюдений, чем в расчетном пункте.

Тренд – аналитическое или графическое (в виде прямой линии – линейный тренд) представление изменений исследуемой метеорологической характеристики во времени за длительный период. В аналитическом виде линейный тренд величины y характеризуется уравнением прямой линии вида $y = a \cdot t + b$, где t – время, a – коэффициент линейного тренда, b – числовой параметр.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОГО

И. Ю. Потапова, Н. А. Белкина, Г. С. Бородулина,
П. А. Лозовик, А. В. Рыжак

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Первые сведения о химическом составе воды и донных отложений оз. Пряжинского были получены в 1953 г. В 1987 г. проведены сезонные наблюдения, по материалам которых дается детальная характеристика вод озера (Современное состояние..., 1988). Химический состав донных отложений (одна проба) исследовался в 1993 г. (Калмыков, 1998). В 2005 г. гидрохимические исследования оз. Пряжинского проводили дважды – в сентябре и октябре. В них приняли активное участие студенты КГПУ Дворак Н. А., Кононова М. С., Петрова А. В., Пителина Л. Н., которые выступили с докладами на II Республиканской школе-конференции молодых ученых (Материалы..., 2006). Отбор проб воды осуществляли на четырех озерных станциях (на двух горизонтах – поверхностном и придонном), истоке из озера и главном притоке – ручье Дегенс (рис. 1). Для изучения химического состава донных отложений было отобрано 6 проб на двух станциях (центральный район – ст. I и восточное побережье – ст. II, рис. 1).

Химический состав подземных вод охарактеризован по данным полевых исследований, проведенных в октябре 2005 г. на водосборе озера, в период 2001–2004 гг. преимущественно на западном побережье озера, а также по результатам бурения скважин на воду «Промбурводом». В процессе полевых исследований 2005 г. в прибрежной зоне Пряжинского оз. выявлены и опробованы 9 источников подземных вод (2 родника, 1 мочажина, 3 колодца, 2 скважины, 1 ручей). Привлечены результаты предыдущих исследований ИВПС по 30 разведочным гидрогеологическим скважинам, 2 родникам и результаты химического анализа трех фондовых скважин, пробуренных в 1960-х гг. на территории п. Пряжа.

Контроль химического состава воды включал определение основных физико-химических параметров. Для оценки качества воды озера рассчитывали индексы загрязнения (ИЗВ), используя следующие показатели: растворенный кислород, БПК₅, фосфор общий, кадмий, железо общее и марганец. Для ручья Дегенс вместо кадмия использовали концентрацию аммонийного азота.

Отбор проб донных отложений осуществлялся поршневой трубкой. В осадках определялись следующие физические и химические характеристики: pH, Eh, естественная влажность, пористость, содержание органического вещества (потери при прокаливании, C_{орг}, растительные пигменты), суточное потребление O₂, биогенные элементы, металлы (69 элементов), нефтепродукты.

Химико-аналитические исследования подземных вод включали определение следующих показателей: электропроводности, цветности, Eh, pH, O₂, CO₂, Rn, перманганатной окисляемости, Fe, HCO₃, NO₃, NO₂, NH₄, N органического, P общего, Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, SiO₂.

Все аналитические работы проводились в аккредитованной лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН по утвержденным Госстандартом России методикам.

Общая характеристика озера Пряжинского

Оз. Пряжинское расположено в бассейне р. Свят (частный водосбор р. Шуи). В озеро впадают ручей Дегенс и два ручья без названия. Водосбор озера холмистый, покрытый смешанными лесами с преобладанием сосны. Заболоченность его – 11%, лесистость – 71%, озерность – 7%. Площадь отмелированных земель составляет 200 га, длина мелиоративных канав 8 км.

В соответствии с показателем условного водообмена (1,2 год⁻¹) оз. Пряжинское можно отнести к группе озер среднего водообмена с полной сменой объема воды в течение 10 месяцев; площадь водосбора равна 50,2 км² (Ресурсы..., 1972).

Котловина Пряжинского оз. – ледникового генезиса. Высота его зеркала над уровнем моря 108 м, наибольшая глубина – 7,5 м. К особенностям гидрографии озера надо отнести наличие одного крупного притока – ручья Дегенс – и двух истоков на западе оз. Шаньгима и на юге р. Свят (Фрейндлинг, 1960).

На берегу оз. Пряжинского расположен п. Пряжа. Мелкие предприятия и склады сосредоточены по всему поселку. Коммунально-бытовые стоки поселка после очистки сбрасываются за пределы водосбора озера (в ручей Шаньгинский). На качество воды озера могут оказывать негативное влияние расположенные на его берегу жилые неблагоустроенные дома, огороды, а также хозяйственное и рекреационное использование озера населением.

Оз. Пряжинское – источник водоснабжения п. Пряжа. Водообеспечение жителей и предприятий осуществляется из озера двумя водозаборами: коммунальным и ведомственным. Коммунальный водопровод эксплуатируется с 1973 г. Вода из берегового колодца поступает на водоочистную установку, а затем в резервуар чистой воды с последующей подачей потребителям.

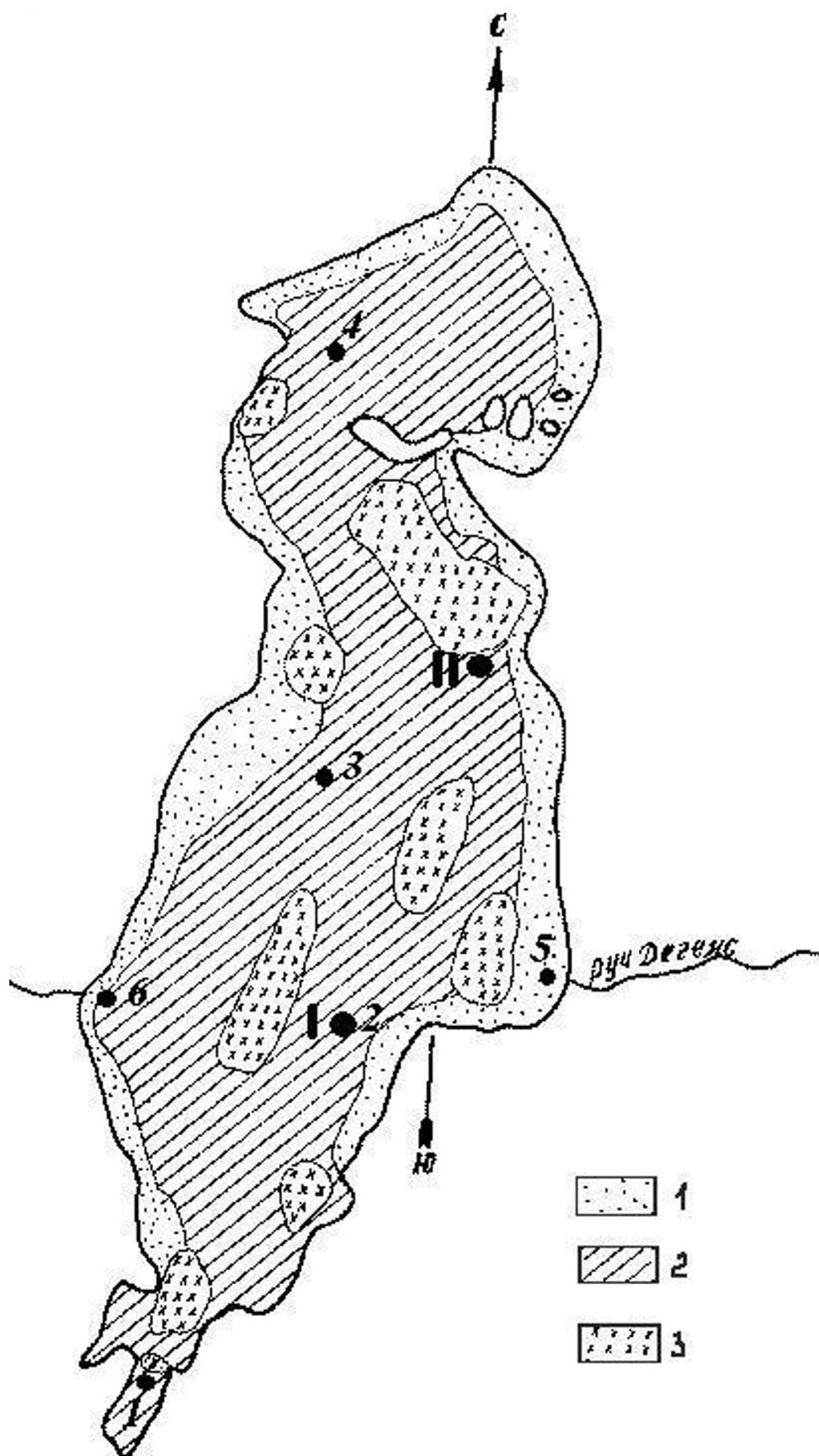


Рис. 1. СХЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И РАСПОЛОЖЕНИЯ СТАНЦИЙ ОТБОРА ПРОБ НА ОЗ. ПРЯЖИНСКОМ

1–6 – станции отбора проб воды; I, II – станции отбора проб донных отложений
(1 – песок, 2 – ил, 3 – руда)

Геолого-гидрогеологические условия

Водосбор Пряжинского оз. сложен четвертичными образованиями, залегающими на гранитах и гранитоиднейсах архея. Полная мощность четвертичных отложений установлена только в п. Пряжа, составляет 42,5 м. Разрез состоит из нескольких моренных и, по меньшей мере, двух межморенных горизонтов. Поверхностные образования лужской стадии представлены в основном осадками ледникового происхождения – мореной пылевато-песчаного, супесчаного и суглинистого состава с гравием, галькой и валунами. Флювиогляциальные отложения развиты в северной части и на юго-западном берегу оз. Пряжинского. Небольшие участки восточнее озера заняты озерно-ледниковыми глинисто-песчаными отложениями.

Через п. Пряжа протягиваются краевые ледниковые образования лужского ледника, причем в северной части водосбора они представлены системой маргинальных озера и кампоподобных холмов. Главная озовая гряда возвышается на 163–167 м (в абсолютных отметках) и продолжается на юго-западном берегу озера. Большая восточная часть территории относится к сильнопересеченному холмисто-грядовому ледниковому рельефу с довольно часто встречающимися озерами и заболоченными понижениями. С запада оз. Пряжинское подперто грядой с уплощенным гребнем, с пережимами, через один из которых протекает ручей. В строении гряды участвуют сортированные пески – от тонких до средней крупности, перекрытые слоем супесчано-суглинистой морены.

Рассматриваемая территория входит в состав Балтийского бассейна трещинных вод, где основной водоносный горизонт, имеющий повсеместное распространение, залегает в верхней трещиноватой зоне кристаллических пород. Кроме того, практически по всей территории имеют развитие поровые грунтовые воды рыхлых отложений четвертичного покрова. Приток подземных вод в озеро формируется в ледниковых и водно-ледниковых отложениях четвертичного возраста. Подземные воды, как правило, безнапорные, лишь на подошве озовой гряды у озера наблюдается небольшой местный напор (+0,2 м). Питание подземных вод осуществляется полностью за счет атмосферных осадков. Родниковый сток характерен для северо-восточной части озера, где наблюдаются пластовая разгрузка подземных вод. Единичные сосредоточенные родники с дебитом 0,1–0,5 л/сек. встречены на юго-восточном и северо-западном побережье.

Химический состав воды озера Пряжинского

По материалам наблюдений 2005 г. в ионном составе преобладающим катионом является кальций – 3,4–3,7 мг/л (41%-экв). Среди

анионов наиболее высокие концентрации имеет гидрокарбонатный ион – 14,4 мг/л (53%-экв). В целом вода оз. Пряжинского – слабоминерализована ($\Sigma_{\text{и}} = 26,7$ мг/л), гидрокарбонатного класса, группы кальция. Распределение главных ионов по акватории и горизонтам равномерное.

Концентрация растворенного кислорода составляет 10,1–10,2 мг/л (88–93% насыщения) в сентябре и 11,5–11,7 мг/л (93–95% насыщения) – в октябре. Содержание CO_2 равно 1,1–1,7 мг/л.

Значение pH по акватории озера в сентябре менялось в пределах 7,10–7,42, а в октябре – 6,83–7,18. По величине pH и щелочности оз. Пряжинское относится к классу среднещелочностных циркумнейтральных водоемов.

Содержание органических веществ, судя по косвенным показателям, в воде озера стабильное. Цветность воды в сентябре варьировала от 85 до 95 град., а в октябре – от 75 до 80 град. Перманганатная окисляемость воды в озере в сентябре менялась от 15,4 до 18,0 мгО₂/л. В октябре перманганатная окисляемость была ниже – до 14,1 мгО₂/л. Значение БПК₅ составило в среднем 1,5 в сентябре и 1,4 мгО₂/л в октябре. В поверхностных горизонтах озерных станций определено содержание хлорофилла-а (11,4–12,9 мкг/л), которое близко к концентрации в истоке из озера.

Концентрация общего фосфора в воде озера колебалась в сентябре в пределах 48–80 мкг/л, в октябре – 51–90 мкг/л. При этом наибольшее содержание $P_{\text{общ}}$ обнаруживается в истоке из озера (ст. 6, район п. Пряжа). Из этих данных следует, что оз. Пряжинское по содержанию общего фосфора относится к евтрофным водным объектам. Концентрация органического азота в сентябре составила 0,40–0,63 мгN/л, а в октябре верхний предел был выше (0,41–0,84 мгN/л). Содержание аммонийного азота колебалось в озере от 5 до 12 мкгN/л. В сентябре в водах озера не были обнаружены нитраты. К октябрю фотосинтетическая деятельность водных растений уменьшилась, и появились нитраты, содержание которых составило (0,01–0,05 мгN/л). Нитриты в озере не обнаружены.

Содержание общего железа менялось от 0,55 до 0,78 мг/л, марганца – от 0,05 до 0,09 мг/л. Распределение кремния по акватории озера равномерное и составляет в среднем около 0,30 мг/л.

В октябре в поверхностных горизонтах было определено содержание тяжелых металлов – свинца и кадмия. Наибольшая концентрация наблюдалась в районе поселка (ст. 6) – 0,4 и 0,04 мкг/л соответственно.

Рассчитанный индекс загрязнения воды оз. Пряжинского составил 0,77, что соответствует «чистому» классу вод.

Основным притоком озера является ручей Дегенс. Ручей соответствует полигумусным,

слабощелочным, слабокислым, гипертрофным водным объектам. Среди катионов преобладает кальций – 3,5 мг/л (38%-экв). В анионном составе преобладают гидрокарбонаты – 7,3 мг/л (45%-экв).

Вода ручья постоянно имеет дефицит кислорода до 40%. Содержание углекислого газа CO₂ в ней значительно выше, чем в озере, в среднем 11,7 мг/л. В течение осени вода имеет относительно низкие значения pH (6,06 – 6,64).

В притоке содержание органических веществ выше, чем в озере. Это в основном гуминовые вещества болотного происхождения (цветность 240 град., перманганатная окисляемость от 35,5 до 45,2 мгО/л).

Вода руч. Дегенс богата биогенными элементами. Концентрация общего фосфора в ручье составляет 234 мкг/л, минерального – 158 мкг/л, азота органического – 43 мкгN/л, аммонийного – 82 мкгN/л, нитратного – 17 мкгN/л. Нитриты практически отсутствовали.

В комплексе с гуминовыми веществами в воде ручья удерживаются большие концентрации железа – 2,7 мг/л и кремния – 5,1 мг/л. Их содержание примерно в 5–6 раз выше, чем в озере. Индекс ИЗВ для воды руч. Дегенс составил 3,0. Это соответствует «загрязненному» классу вод.

Таким образом, руч. Дегенс несет воду с высоким содержанием биогенных и органических веществ, в составе которых преобладают окрашенные трудноокисляемые гуминовые соединения, образующие комплексы с железом, марганцем и кремнием. Вода, попадающая в озеро, имеет низкую минерализацию, кислую реакцию, значительный дефицит кислорода и высокую концентрацию углекислого газа. Однако влияние этих вод ограничено в связи с малыми объемами их поступления.

В целом за счет внутриводоемных процессов, склонового стока и разгрузки части и подземных вод непосредственно в озеро состав его воды значительно отличается от воды руч. Дегенс и атмосферных осадков. За счет минерализации части органических соединений, а также седиментации гидроокиси железа и гуминовых веществ уменьшается сток железа и органических веществ из озера. Увеличение общего железа и ионного стока из озера может быть связано как с подземным питанием, так и с влиянием склонового стока с территории поселка.

Донные отложения озера Пряжинского

Донные отложения оз. Пряжинского, формирующиеся за счет терригенных эоловых наносов и автохтонных продуктов, представлены главным образом илами (75% площади дна). Пески и валунно-галечные отложения занимают 25% площади дна, в районе восточного берега встречаются рудные образования в виде гранул.

Описание колонок донных отложений, залегающих на максимальной глубине в центре озера и в прибрежной части, представлено табл. 1.

Таблица 1

ОПИСАНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ оз. ПРЯЖИНСКОГО

Глубина залегания	Описание донных отложений
8 м	0–0,5 см – коричневый ил, зеленые водоросли на поверхности; 0,5–17 см – темный рыхлый крупноалевритовый ил; 19–25 см – коричневый песок;
4 м	0–0,5 см – коричневый ил, зеленые водоросли на поверхности; 0,5–14 см – черный рыхлый крупноалевритовый ил; 14–35 см – темно-коричневый ил

Исследованные иловые донные отложения характеризуются высокой естественной влажностью (от 81 до 94%) и пористостью (0,85–0,94), которые закономерно уменьшались с глубиной залегания осадка. Естественная влажность песка (слой 19–25 см), обнаруженного на ст. I, составила 25%, пористость – 0,27.

Донные отложения имеют восстановительный характер (Eh ~ 50 мВ). Толщина окисленного слоя в колонке осадка не превышала 5 мм. Значение pH (~ 6,7) меньше, чем pH надилловой воды (7,04). Содержание органических веществ монотонно убывает с ростом глубины залегания осадка (рис. 2). В иловых пробах значение потери при прокаливании колеблется от 30 до 40, в песках < 2% (здесь и далее содержание компонентов рассчитывалось на воздушно-сухой вес осадка) (табл. 2). Высокое значение атомного отношения C : N (~ 25) указывает на то, что основным поставщиком ОВ является наземная и высшая водная растительность. Значительные концентрации растительных пигментов в верхнем слое донных отложений (до 585 мкг/г) определяют высокие скорости потребления кислорода илом этих осадков (1,44 и 2,25 мгО/г, ст. I и II соответственно). Концентрации биогенных элементов значительны (до 1% N и 0,5% P). Характерным оз. Пряжинскому является накопление фосфора в донных отложениях (рис. 3), максимум лабильных форм фосфора обнаружен в средних слоях, особенно на ст. II – 91%, что, по-видимому, связано с более высоким содержанием здесь ОВ (32%). Концентрация азота в целом

Таблица 2

СОДЕРЖАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ

В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ оз. ПРЯЖИНСКОГО, мкг/г

№ ст.	Слой, см	Chl a	Chl b	Chl c	Феофитин
I	0–7	342	42	15	487
	7–15	171	28	30	269
	15–23	24	5	3	40
II	0–7	449	65	71	721
	7–15	202	39	20	333
	15–23	112	23	13	198

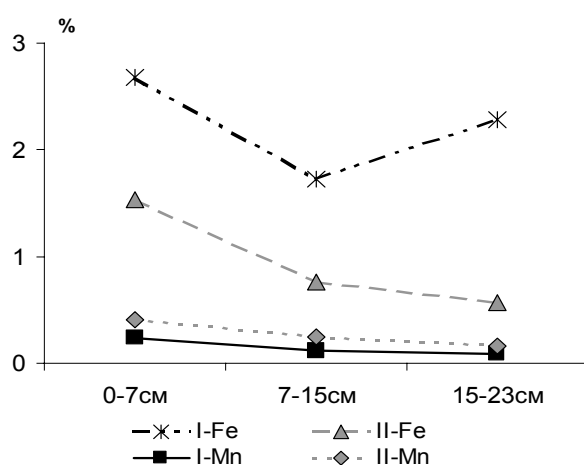
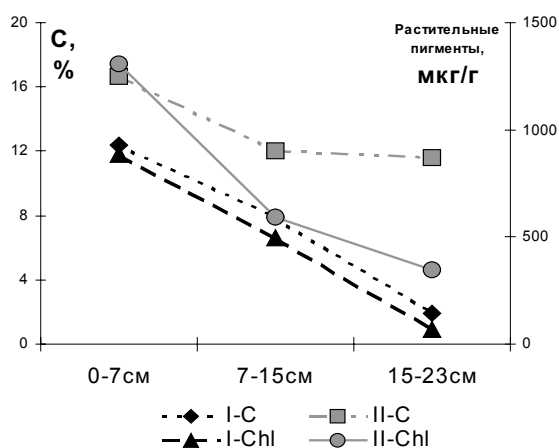


Рис. 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОРГ., СУММЫ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ, Fe, Mn В КОЛОНКЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ оз. ПРЯЖИНСКОГО НА СТ. I И II

убывает вниз по колонке (рис. 4). Донные отложения оз. Пряжинского отличаются очень высокими концентрациями нефтепродуктов (0,28%). Содержание тяжелых металлов, как правило, ниже кларковых значений, исключая Fe и Mn (табл. 3).

Оценка химического подземного стока в озеро Пряжинское

Разгрузка подземных вод в водоемы является наименее изученным элементом водного и солевого баланса, так как приток подземных вод является единственным компонентом водного баланса, который не поддается прямым измерениям.

В основе изучения и количественной оценки подземного стока в озера лежат методы, основанные на количественном анализе условий формирования подземного стока в пределах водосборной и прежде всего в прибрежной части суши (Зекцер, 2001). Одним из методов, широко используемым при оценке подземного стока в разнообразных гидрогеологических ситуациях, является гидродинамический метод. Суть его заключается в следующем. На основе анализа геолого-структурных и гидрогеологических условий прибрежной части территории выделяются водоносные горизонты (комплексы), сток с которых направлен непосредственно в озеро, минуя речную сеть. Ширина береговых зон, с которых происходит разгрузка подземных вод в котловину оз. Пряжинского, составляет в среднем 1 км, и только в районе развития озовой гряды достигает 3 км. Подземный сток, направленный в реки и ручьи, притекающие в изучаемый водоем, количественно учтен в объеме среднесуточного речного стока, а качественно – в показателях химического состава притоков.

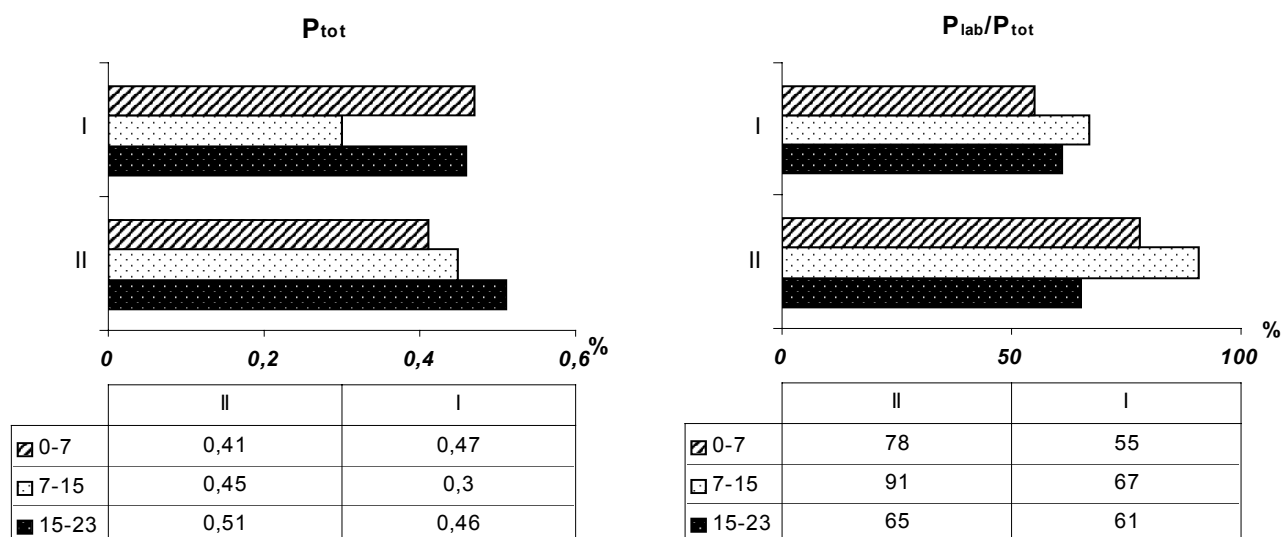
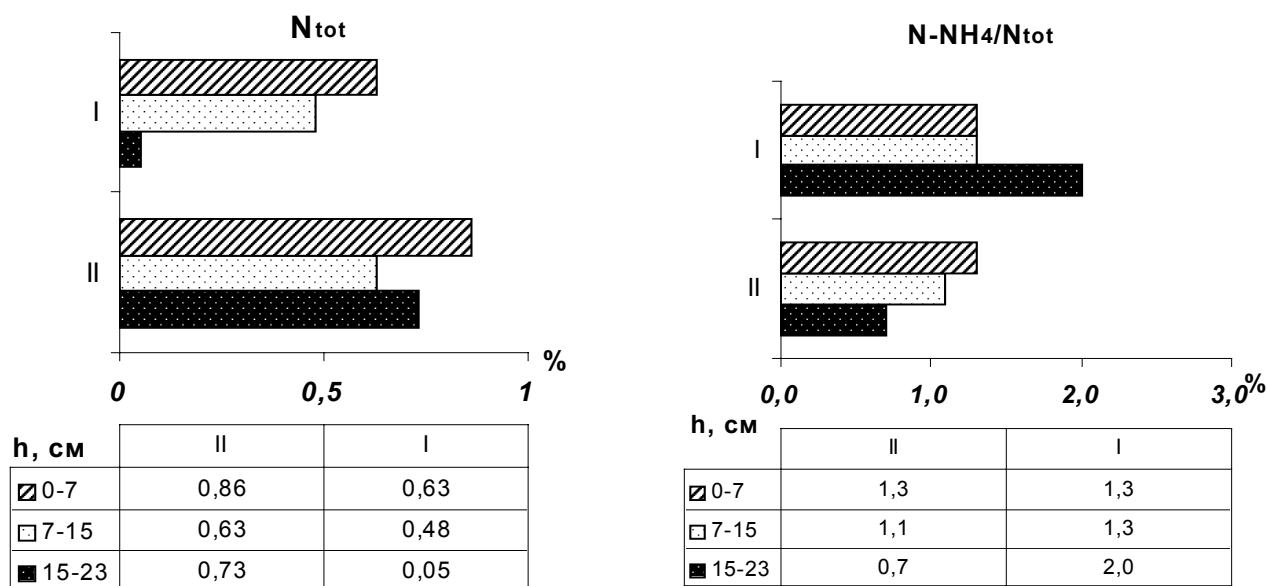


Рис. 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФОСФОРА ОБЩЕГО (P_{tot}) И ДОЛИ ЛАБИЛЬНОГО ФОСФОРА ОТ ФОСФОРА ОБЩЕГО (P_{lab}/P_{tot}) В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ оз. ПРЯЖИНСКОГО ПО ГЛУБИНЕ КОЛОНКИ НА СТАНЦИЯХ I И II

Таблица 3

СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СТ. I оз. ПРЯЖИНСКОГО, мкг/г

Li 5,8	Be 0,8	B 1,9	Na 6779,4	M G 1085,7	Al 14860,1	Si 176,9	K 6439,2	Ca 4607,1	Sc 1,7	Ti 413,3
V 20,1	Cr 15,8	Mn 821,6	Fe 24375,5	Co 7,7	Ni 7,9	Cu 8,1	Zn 101,0	Ga 3,1	Ge 0,4	As 5,1
Se 0,2	Br 2,3	Rb 24,1	Sr 97,8	Y 3,7	Zr 15,6	Nb 1,2	Mo 0,6	Ru <0,02	Rh 0,0	Pd 0,1
Ag 0,2	Cd 0,8	Sn 2,9	Sb 0,4	Te 0,0	I 4,6	Cs 0,6	Ba 460,5	La 12,3	Ce 25,1	Pr 2,9
Nd 11,2	Sm 1,8	Eu 0,5	Gd 1,6	Tb 0,2	Dy 1,2	Ho 0,2	Er 0,7	Tm 0,1	Yb 0,6	Lu 0,1
Hf 0,8	Ta 0,1	W 0,3	Re 0,0	Os <0,02	Ir <0,01	Pt <0,02	Au 0,0	Hg 0,1	Tl 0,3	Pb 35,1
Bi 0,2	Th 3,1	U 1,0								

Рис. 4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АЗОТА ОБЩЕГО (N_{tot}) И ДОЛИ АММИАЧНОГО АЗОТА В АЗОТЕ ОБЩЕМ (N-NH₄/N_{tot}) В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ оз. ПРЯЖИНСКОГО ПО ГЛУБИНЕ КОЛОНКИ НА СТАНЦИЯХ I И II

Расчет подземного расхода ведется для каждого выделенного комплекса со сходными гидрогеологическими условиями с использованием имеющихся гидрогеологических параметров (водопроницаемость водоносных комплексов и гидравлические градиенты потоков подземных вод). Как известно, расход подземного потока определяется с помощью основной зависимости Дарси:

$$Q_c = Kh_{cp}BI, \quad (1)$$

где K – средний коэффициент фильтрации пласта; h_{cp} – средняя мощность потока; B – ширина фронта потока; I – средний напорный градиент потока между расчетными сечениями.

Необходимые гидрогеологические параметры были получены при анализе опубликованных архивных данных о геологическом строении и гидрогеологических условиях района, а также в результате разведочно-оценочных работ, проведенных ИВПС в 2001–2003 гг. в районе Пряжинского оз. для водоснабжения поселка подземной водой (Богачев и др., 2004). В ходе этих работ были проведены разведочное

бурение и опытно-фильтрационные работы, позволившие детально охарактеризовать гидрогеологические условия северо-восточной части побережья озера, сложенного водно-ледниковыми отложениями.

Ширина фронта потока водоносных комплексов снята с карты масштаба 1 : 10 000. Под подземным химическим стоком понимается сумма солей, переносимых в растворенном состоянии подземными водами от областей питания к местам дренирования. Химический подземный сток определяется как сумма произведений общей минерализации подземных вод отдельных водоносных комплексов на объем воды, формирующей подземный сток этих горизонтов и комплексов. Поэтому для оценки ионного подземного стока в озера использованы результаты расчета расхода подземного потока и данные химического опробования водоносных комплексов по скважинам, родникам и колодцам. Для оценки доли загрязненного подземного стока в общем объеме выделялся сток с прибрежной территории, занятой поселком.

В результате анализа геолого-гидрогеологических условий района озера по периметру озера выделены три основных водоносных комплекса со сходными гидрогеологическими свойствами. В двух первых комплексах разгрузка рассчитана для зон с естественным и антропогенно измененным режимом (табл. 4).

Таблица 4
ПОДЗЕМНЫЙ СТОК В оз. ПРЯЖИНСКОЕ

Горизонт (комплекс)	Подземный сток, м ³ /сут
<i>Моренный</i>	
а) естественный	690
б) загрязненный	532
<i>Камовый</i>	
а) естественный	712
б) загрязненный	1080
<i>Озовый</i>	5400
<i>Общий</i>	8410

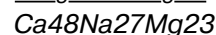
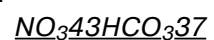
На распределение величин подземного стока значительное влияние оказывает развитие хорошо проницаемых водно-ледниковых отложений, особенно флювиогляциальных. Как следует из табл. 1, водоносные комплексы озовых отложений дренируют 64% всего подземного стока. Водообильность флювиогляциальных отложений наиболее высока и достаточна для организации водоснабжения п. Пряжа. На участке развития озовых отложений оценено и подготовлено к опытно-промышленной эксплуатации месторождение подземных вод в количестве заявленной потребности 2000 м³/сут (Богачев и др., 2004). Сток с загрязненной территории составляет 18% от общего подземного стока. В многолетнем общем водном балансе оз. Пряжинского подземный сток составляет около 16%.

Химический состав подземных вод каждого комплекса имеет свои особенности (табл. 5). Наиболее детально изучен состав вод, форми-

Таблица 5
СРЕДНИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ПРИБРЕЖНЫХ ЗОНАХ ОЗЕРА (I – естественные условия, II – антропогенные условия)

Показатель, компонент	Водоносный комплекс				
	Моренный		Камовый		Озовый
	I	II	I	II	I
pH	7,1	6,6	6,1	5,9	6,4
Na, мг/л	10	35	4	7	4
K, мг/л	2,7	17,6	1	1	1
Ca, мг/л	17	40	9	8	7
Mg, мг/л	6	10	4	2	3
HCO ₃ ⁻ , мг/л	130	147	28	13	40
Cl, мг/л	2	39	1,8	13	1,5
SO ₄ ⁻ , мг/л	3	30	18	3	9
SiO ₂ , мг/л	24	22	14	14	16
Fe общ., мг/л	1	1	0,2	0,3	0,3
NO ₃ ⁻ , мг/л	0,2	30	0,1	20	0,8
NO ₂ ⁻ , мг/л	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
NH ₄ ⁺ , мг/л	1	0,5	0,01	0,01	0,01
P общ., мгР/л	0,3	1	0,06	1	0,06
Минерализация, г/л	0,2	0,4	0,1	0,1	0,1

рующихся во флювиогляциальных отложениях. Здесь воды с минерализацией от 0,04 до 0,11 г/л (в среднем 0,9 г/л) имеют гидрокарбонатный кальциево-магниевый состав. Усредненные показатели химического состава воды для камовых образований (не опробованных на изучаемой территории) получены в результате статистической обработки результатов анализов (n = 103) подземных вод аналогичных отложений региона. Минерализация вод этого комплекса в естественных условиях также невелика (в среднем 0,08 г/л), химический состав преимущественно гидрокарбонатно-сульфатный (Бородулина и др., 2003). На территории поселка в воде родника из камовых песков отмечается высокое содержание нитратов – 21 мг/л, что при низкой минерализации воды приводит к формированию необычного химического типа:



Более минерализованные (0,18–0,23 г/л) подземные воды формируются в морене. Родником и скважиной вскрыты воды с низким содержанием кислорода и с повышенными концентрациями железа. На территории поселка подземные воды морены отличаются еще более высокой минерализацией (до 0,5 г/л), что связано с хозяйственно-бытовым загрязнением. Основными показателями загрязнения подземных вод являются нитраты и калий, концентрации которых в колодцах достигают 66 и 25 мг/л соответственно. В естественных условиях их содержание не превышает первых единиц мг/л. Кроме того, в воде колодцев отмечается значительное количество хлоридов (до 60 мг/л), натрия (до 45 мг/л), сульфатов (до 46 мг/л), что также свидетельствует о наличии хозяйственно-бытового загрязнения. Величина перманганатной окисляемости в этих водах достигает 9–17 мгО/л. В одном из колодцев определен азот органический в количестве 0,54 мг/л. Концентрации микрокомпонентов в подземных водах естественных ландшафтов не превышают фоновые региональные показатели, в то время как в водах на территории поселка отмечаются повышенные концентрации (мкг/л) никеля (4,5), меди (11,4), цинка (375).

Соотношение стока и привноса солей с подземными и поверхностными водами в озеро приведено в табл. 6. Результаты расчета свидетельствуют, что, несмотря на незначительную долю подземного стока в водном общем

Таблица 6
ПОСТУПЛЕНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С РЕЧНЫМ И ПОДЗЕМНЫМ СТОКОМ (т/год)

Сток, млн м ³ /год	Минерализация	NO ₃ ⁻	P общ.	Si
Поверхностный	13,3*	174**	6,5**	39**
Подземный	3,1	388	15	25

Примечание. Данные* (Голомах, Сало, 2006), ** (Петрова, Лозовик, 2006).

балансе (около 16%), роль подземного химического стока имеет определяющее значение: количество солей, поступающих в озеро с подземными водами, более чем вдвое превышает химический поверхностный сток.

Сравнение количества биогенных элементов, поступающих с поверхностным и подземным стоком в озеро, показало, что подземными водами выносятся в 1,5 раза меньшее количество кремния, но вдвое большее – нитратов и фосфора общего. При этом следует учесть, что подавляющая часть нитратов (90%) и фосфора (75%) поступает с подземными водами с загрязненных территорий.

Химический баланс озера Пряжинского

Для оценки химического баланса озера требуются сведения по его водному балансу, содержанию в притоках веществ, подземных водах, атмосферных осадках и в истоке из озера. Данные многолетнего водного баланса, полученные Ю. В. Голомах, Ю. А. Сало (2006), использовались для оз. Пряжинского. Для расчета приходной части баланса с поверхностным притоком учитывались в основном показатели 1987 г., а с подземным стоком – 2005 г. наблюдений. Летне-осенний сезон 2005 г. характеризовался очень низкой водностью, и многие водотоки, в том числе и основной приток озера – руч. Дегенес, перешли на подземное питание, как следствие этого, химические показатели в ручье существенно отличались от ранее наблюдаемых, тогда как в самом озере их изменение не было столь контрастным. Поступление веществ с атмосферными осадками, выпадающими на поверхность озера, было рассчитано по составу осадков Южной Карелии с использованием литературных сведений (Лозовик, Потапова, 2006). Указанные выше обстоятельства не позволяют получить точные сведения по химическому балансу оз. Пряжинского, но в то же время его элементы дают возможность судить о поступлении веществ в озеро от различных источников и выявить внутриводоемную трансформацию лабильных соединений (табл. 7).

Приходная часть водного баланса равняется 18,8, а расходная – 17,7 млн м³ в год, невязка – 1,1 млн м³. В приходной части химического баланса рассматриваются все элементы водного баланса, а в расходной – только поверхностный

Таблица 7
ЭЛЕМЕНТЫ ВОДНОГО БАЛАНСА оз. ПРЯЖИНСКОГО, млн м³/год

Приход		Расход	
Осадки	2,42	Испарение	1,60
Подземный приток	3,10	Водопотребление	0,20
Поверхностный приток	13,3	Поверхностный сток	15,9
Всего	18,8	Всего	17,7

сток и водопотребление, что в сумме составляет 16,1 млн м³/год. Потеря веществ при испарении воды незначительна, и ее не принимали во внимание.

Для расчета средневзвешенной концентрации веществ в поверхностном притоке учитывалось внутригодовое распределение стока, полученное по водотоку-аналогу (рекам Маньга и Святрека) и предоставленное Ю. А. Сало (табл. 8).

В связи с тем, что озеро оказывает регулирующее действие на сток, внутригодовое распределение последнего несколько отличается от такового для притока в озеро. Поэтому для расчета средневзвешенной концентрации веществ в истоке из озера использовались данные по сезонному распределению водного стока из озера (табл. 9).

Таблица 8
СЕЗОННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИТОКА С ВОДОСБОРА оз. ПРЯЖИНСКОГО

Сезон	Месяцы	Q, млн м ³	p
Весна	IV–VI	6,73	0,50
Лето	VII–VIII	1,40	0,11
Осень	IX–XI	3,17	0,24
Зима	XII–I	2,00	0,15
Год	I–XII	13,3	1,00

Таблица 9
ВНУТРИГODOVое РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА оз. ПРЯЖИНСКОГО (ДАННЫЕ Ю. А. САЛО)

Сезон	Месяцы	Q, млн м ³	p
Весна	IV–VI	5,43	0,34
Лето	VII–VII	2,48	0,15
Осень	IX–XI	5,10	0,32
Зима	XII–III	3,12	0,19
Год	I–XII	17,7	1,00

Оценка химического баланса оз. Пряжинского осуществлялась по основным группам веществ: минеральным ($\Sigma_{\text{и}}$), органическим (ОВ), Fe_{общ}, Si, P_{общ}, N_{орг}, NO₃⁻.

Как было уже отмечено ранее, по большинству компонентов учитывались данные наблюдений 1987 г., а по азотистым веществам – 2005 г. (табл. 10). Последние были получены на современной аналитической основе, чем в 1987 г.

По подземным водам использовались результаты анализа проб, отобранных в 2005 г. Л. Н. Пителиной, Г. С. Бородулиной и В. В. Трениным (2006), а по атмосферным осадкам литературные сведения (Лозовик, Потапова, 2006) (табл. 11).

Таким образом, на основании имеющихся литературных, фондовых материалов и проведенных наблюдений в 2005 г. удалось получить сведения по химическому составу воды основных источников его формирования в оз. Пряжинском, которые были использованы для расчета химического баланса озера.

Таблица 10

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ руч. ДЕГЕНС И ИСТОКА оз. ПРЯЖИНСКОГО

Сезон		ОВ	Fe _{общ}	Si	P _{общ} мкг/л	N _{орг}	NO ₃ ⁻
	мг/л					мгN/л	
руч. Дегенс							
Весна	8,8	42,0	0,56	2,0	32	–	–
Лето	12,2	49,6	0,91	2,5	30	–	–
Осень	16,1	40,0	1,44	4,2	38	0,53	0,11
Зима	23,1	29,2	1,01	3,9	37	–	–
Средне- взвешенная годовая	13,1	40,4	0,88	2,9	34	–	–
Исток из озера							
Весна	22,8	22,6	0,63	1,1	46	–	–
Лето	27,1	22,8	0,63	0,4	55	–	–
Осень	24,7	19,6	0,58	1,4	63	0,47	0,01
Зима	26,7	22,4	0,19	0,6	32	–	–
Средне- взвешенная годовая	24,8	21,6	0,53	1,0	50	–	–

Таблица 11

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
(СРЕДНЕВЗВЕШЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ)
И АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

Объект	Σ _и	ОВ	Fe _{общ}	Si	P _{общ} мкг/л	N _{орг}	NO ₃ ⁻
		мг/л				мгN/л	
Подземные воды	127	8,0	0,40	8,3	257	–	1,13
Осадки	2,1	2,0	0,05	0,02	8	0,06	0,34

Химический баланс озера включает две составные части: приходную, рассчитываемую по притоку в озеро, и расходную, определяемую по истоку из озера. По разности прихода и расхода получают аккумуляцию и невязку баланса. Первая связана с увеличением или уменьшением запаса вещества в озере при изменении его объема за расчетный период, а вторая – с внутриводоемной трансформацией лабильных соединений. В принципе, аккумуляция может быть вычислена как произведение ΔV_{оз} на среднюю концентрацию вещества в озере. В нашем случае это выполнить невозможно, поскольку мы не располагаем соответствующими гидрологическими параметрами. Если учесть «особенности» химических данных, то можно говорить только об ориентировочном химическом балансе оз. Пряжинского. Результаты расчетов химического баланса озера представлены в табл. 12. В приходной части баланса минеральных веществ, фосфора общего и нитратов почти в два раза больший вклад дают подземные воды, несмотря на маленький их объем по сравнению с поверхностным стоком. Причина заключается в том, что в подземных водах в районе п. Пряжа значительно выше Σ_и, содержание P_{общ} и NO₃⁻, чем в руч. Дегенс. В отношении ОВ, Fe_{общ}, N_{орг} и Si имеем обратную картину, их поступление в озеро с поверхностным стоком намного выше, чем с подземным. В

Таблица 12

ЭЛЕМЕНТЫ ХИМИЧЕСКОГО БАЛАНСА
оз. ПРЯЖИНСКОГО, т

Элемент баланса	Σ _и	ОВ	Fe _{общ}	Si	P _{общ}	N _{орг}	NO ₃ ⁻
		Приход					
Осадки	5	5	0,1	0,05	0,02	0,15	0,82
Поверхностный приток	174	537	12	39	0,45	7,0	1,5
Подземный приток	388	24	1,2	25	0,79	–	3,4
Всего	567	566	13,3	64	1,24	7,2	5,7
		Расход					
Сток из озера	399	348	8,5	16	1,81	7,6	0,2
		Аккумуляция + невязка					
	163	189	4,5	48	0,43	–0,4	5,5

данном случае сыграло роль, как соотношение их стоков, так и содержание этих веществ в водах соответствующего генезиса (табл. 10, 11). Вклад атмосферных осадков в химический баланс незначителен для всех групп веществ. Единственное, что можно отметить, это поступление в озеро с осадками азотистых веществ, которые по нитратам составляют половину от поверхностного притока.

В расходной части баланса наиболее существенна доля минеральных и органических веществ, в сумме дающих около 750 т их стока из озера. Почти на порядок меньше по сравнению с вышеуказанными компонентами отмечается сток остальных веществ и практически «нулевой» – нитратов.

По всем элементам за исключением N_{орг} получена существенная разница в приходной и расходной части баланса, достигающая 30–95%. Это связано с высокой погрешностью расчета баланса, учитывающей неполноту исходной информации. Невозможность количественной оценки аккумуляции не позволяет вычислить невязку баланса по лабильным веществам и выяснить их внутриводоемную трансформацию. В то же время, если предположить незначительную величину аккумуляции, связанную с изменением объема озера, можно выделить общие закономерности, которые весьма логичны. Так, за счет внутриводоемных процессов (седиментации, биохимического окисления) происходит уменьшение содержания ОВ, Fe_{общ} и P_{общ} в воде озера и его удерживающая способность по этим веществам составляет около 33%. В то же время для нитратов и кремния она значительно больше (75–95%), а для N_{орг} – фактически нулевая. Причина заключается в том, что оз. Пряжинское – евтрофный водоем и в нем активно протекают продукционно-деструкционные процессы. В результате происходит полное потребление нитратов и перевод их в органические формы. Процессы биохимического окисления ОВ и захоронение части его в донных отложениях приводят к сбалансированности содержания N_{орг} в воде озера. Кремний активно потребляется диатомовыми водорослями и

достаточно устойчив в их створках, поэтому и наблюдается значительная невязка баланса по этому элементу. Для фосфора характерна высокая оборачиваемость, в связи с чем не происходит столь контрастное изменение его концентрации в озере по сравнению с кремнием и нитратами.

Устойчивость озера Пряжинского к закислению

Одним из факторов антропогенного воздействия на водные экосистемы Севера является их закисление в результате выпадения сильных кислот с атмосферными осадками. В соответствии с разработанной гидрогеохимической моделью (Лозовик, 2006) устойчивость водных объектов к закислению определяется гидрологическими и геохимическими факторами. Первый показывает, какое количество сильных кислот может поступить в водный объект в зависимости от их концентрации в зимних атмосферных осадках ($C_{\text{сильн. к-т}}$) и доли закисляющих вод весеннего половодья и осадков, выпадающих на поверхность озера (ρ):

$$b = C_{\text{сильн. к-т}} \cdot \rho. \quad (2)$$

Непосредственно ρ связано с удельным водосбором озера ($\Delta F_{\text{уд.}}$):

$$\rho = 0,0124 \cdot \Delta F_{\text{уд.}}^{1,34} + 2\Delta F_{\text{уд.}}^{-1}, \quad (3)$$

где первое слагаемое отражает вклад вод весеннего половодья в закисление водного объекта, а второе – осадков, выпадающих на поверхность озера. Из указанных формул следует, чем больше концентрация сильных кислот в атмосферных осадках, тем выше их поступление в водный объект; чем значительнее удельный водосбор озера, тем больше роль весеннего половодья; чем меньше $\Delta F_{\text{уд.}}$, тем наиболее значимо в закислении водного объекта выпадение осадков на поверхность озера.

С геохимических позиций устойчивость водного объекта к закислению определяется буферной емкостью воды, которая зависит от компонентов кислотно-основного равновесия. Фактически, буферная емкость показывает, как будет меняться pH воды при добавлении сильных кислот. В данном случае имеет значение, среди каких пород расположено озеро и его водосборный бассейн. Наибольшему закислению подвергаются озера, находящиеся среди гранитных скал, песчаных отложений, болот и характеризующиеся наименьшей буферной емкостью воды.

В качестве критической (допустимой) величины поступления сильных кислот в водный объект ($b_{\text{крит.}}$) принято произведение $\Delta \text{pH}_{\text{крит.}} \cdot \beta = b_{\text{крит.}}$, а $\Delta \text{pH}_{\text{крит.}} = 0,3$ ед. Последняя соответствует межсезонной изменчивости pH, существующей в водных объектах Севера и обусловленной разной растворимостью CO_2 при изменении температуры.

Согласно данным по многолетнему водному балансу оз. Пряжинского, полученным Ю. В. Голомах, Ю. А. Сало (2006), количество осадков, выпадающих на поверхность озера, составляет $2,4 \text{ млн м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$, весенний сток (апрель–май) – $5,2 \text{ млн м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$, а годовой – $17,7 \text{ млн м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$. Следовательно, доля закисляющих вод для этого озера будет равняться:

$$\rho = \frac{2,4 + 5,2}{17,7} = 0,43.$$

Расчетное значение по формуле (3) равно 0,53. Оба коэффициента близки между собой, но для дальнейших расчетов будем использовать первый коэффициент, полученный по натуральным данным.

В качестве концентрации сильных кислот в атмосферных осадках примем значение $0,03 \text{ ммоль-экв/л}$, установленное для зимних осадков Южной Карелии (Лозовик, Потапова, 2006), поскольку непосредственного отбора снеговых проб оз. Пряжинского не проводилось. Следует отметить, что указанное значение является наибольшим по сравнению с другими районами Карелии, что обусловлено влиянием трансграничного переноса воздушных масс Западной Европы на осадки в Южной Карелии.

Буферная емкость воды оз. Пряжинского определялась экспериментальным методом по потенциометрическим кривым титрования проб воды сильной кислотой с использованием линейного уравнения

$$\frac{[H^+]}{m} = \frac{K}{C_{\text{общ}}} + \frac{[H^+]}{C_{\text{общ}}}, \quad (4)$$

где $[H^+]$, m – равновесная концентрация ионов водорода и слабых кислот соответственно после добавления сильной кислоты, $C_{\text{общ}}$ – общая концентрация слабых кислот и их анионов в исходном растворе, K – константа диссоциации слабой кислоты. Тангенс угла наклона дает

величину $\frac{1}{C_{\text{общ}}}$, а точка пересечения с осью ординат – свободный член $\frac{K}{C_{\text{общ}}}$, из которых

легко найти $C_{\text{общ}}$ и K . Далее, используя классическое уравнение Ван-Слайка (Бейтс, 1968)

$$\beta = 2,3 \frac{C_{\text{общ}} \cdot 10^{pK - pH}}{(1 + 10^{pK - pH})^2},$$

без труда можно вычислить буферную емкость воды. Все потенциометрические измерения были выполнены на pH-метре, иономере И-120.1, титрование проб воды сильной кислотой проводили с использованием автоматического титратора Dosimat 715. Определение щелочности воды осуществляли методом двухточечного титрования до pH 4,5, 4,2 [РД 33-5.3.07-96], а суммы слабых кислот титрованием раствором соды до pH 8,3.

На основании обработки потенциометрических кривых титрования и соответствующих расчетов (табл. 13) установлено, что среднее значение буферной емкости воды оз. Пряжинского составляет 0,10 ммоль-экв/л и изменяется в пределах 0,085–0,109 ммоль-экв/л. Наибольшая величина β отмечена в воде руч. Дегенс в связи с высоким значением $C_{\text{общ}}$. Сумма кислотности и щелочности воды близка к общей концентрации слабых кислот и их анионов в исходном растворе, pK – к аналогичному показателю для угольной кислоты. Последнее указывает на то, что кислотно-основное равновесие в воде оз. Пряжинского обусловлено карбонатной системой ($\text{HCO}_3^- - \text{CO}_2$). В конечном итоге мы имеем все параметры для оценки степени закисления оз. Пряжинского (табл. 14).

Таблица 13

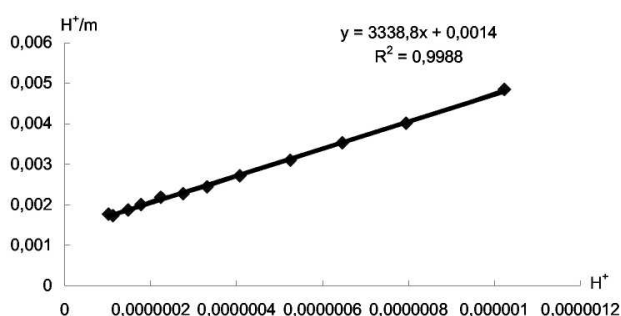
ПОКАЗАТЕЛИ КИСЛОТНО-ОСНОВНОГО РАВНОВЕСИЯ ВОДЫ оз. ПРЯЖИНСКОГО

Дата отбора	№ станции	pH	Acid	Alk	C _{общ}	β	pK
			ммоль-экв/л				
11.10.05	2 (поверхность)	6,99	0,058	0,241	0,300	0,109	6,38
	2 (дно)	6,94	0,050	0,246	0,309	0,101	6,25
	руч. Дегенс	6,41	0,278	0,222	0,490	0,276	6,53
	исток из озера	6,97	0,040	0,232	0,290	0,085	6,22

Таблица 14

БУФЕРНАЯ ЕМКОСТЬ ВОДЫ И ПОСТУПЛЕНИЕ СИЛЬНЫХ КИСЛОТ В оз. ПРЯЖИНСКОЕ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ КИСЛОТНОЙ НАГРУЗКЕ

ρ	pH осад- ков	C _{сильн. к-т}	β	b	b _{крит}	ΔpH	ΔHCO ₃ ⁻ , мг/л
		ммоль-экв/л					
0,43	4,5	0,03	0,10	0,013	0,030	0,11	0,80
0,43	4,0	0,08	0,10	0,036	0,030	0,30	2,20



Зависимость $\text{H}^+/\text{м}$ от H^+ для воды оз. Пряжинского

В результате поступления сильных кислот в оз. Пряжинское как с атмосферными осадками, выпадающими на поверхность озера в течение года, так и за счет талых снеговых вод в период весеннего половодья, изменение pH воды озера составит около 0,1 ед., а щелочности – 0,8 мг $\text{HCO}_3^-/\text{л}$. Полученные показатели являют-

ся достаточно низкими (почти в 2,3 раза меньше чем критические), поэтому закисление вод оз. Пряжинского небольшое и маловероятно, что оно имеет какие-либо экологические последствия. Связано это с тем, что оз. Пряжинское достаточно устойчиво к закислению как с гидрологических, так и с геохимических позиций. Достижение критического уровня закисления вод будет наблюдаться при снижении величины pH атмосферных осадков в районе оз. Пряжинского до 4,0. Это произойдет в том случае, если существенно будет увеличена эмиссия диоксида серы и окислов азота в странах Европы и России. В связи с тем, что многими странами, в том числе и Россией, принята Международная Конвенция по снижению выбросов в атмосферу SO_2 и окислов азота, и она выполняется, опасаться закисления вод оз. Пряжинского нет оснований.

Закключение

1. В целом оз. Пряжинское характеризуется достаточно стабильным гидрохимическим режимом. Химический состав воды в районе водозабора п. Пряжа незначительно отличается от состава озерных станций. В связи с низкой водностью летне-осеннего сезона 2005 г. наблюдалось некоторое увеличение содержания биогенных элементов и лабильных органических веществ в озере, которое и ранее было достаточно высоким. Влияние гумифицированного притока – руч. Дегенс – весьма ограничено в связи с малыми объемами поступающих вод. Согласно рассчитанному индексу загрязнения оз. Пряжинское относится к условно чистым водоемам, и основной проблемой для этого озера является ефтрофирование за счет стока с водосборной территории.

2. В донных отложениях оз. Пряжинского, формирующихся за счет терригенных эоловых наносов и автохтонных продуктов, происходит накопление органических веществ, фосфора и азота. Содержание железа и марганца превышает кларковые значения на порядок. Высокая концентрация нефтяных углеводородов в осадках может быть следствием терригенного сноса с территории п. Пряжа.

3. Несмотря на относительно небольшое количество подземных вод, поступающих в озеро, их влияние на солевой состав и качество озерной воды весьма значительно и сравнимо с воздействием, оказываемым поверхностными водами. Существенную роль в формировании химического состава озерной воды играет поступление элементов, в том числе биогенных, с загрязненным подземным стоком.

4. Проведенные расчеты химического баланса оз. Пряжинского показали, что для этого озера существенна доля поступления минеральных веществ, $P_{\text{общ}}$ и нитратов и отчасти кремния за счет разгрузки в него подземных вод. Подземная составляющая в приходной части баланса $\Sigma_{\text{и}}$, $P_{\text{общ}}$ и NO_3^- почти в 2 раза

выше поверхностной. В то же время для органических веществ, $Fe_{\text{общ}}$ и $N_{\text{орг}}$ наблюдается обратная картина – их поступление с поверхностными водами значительно превосходит их приток с подземными.

Удерживающая способность озера по отношению OB , $Fe_{\text{общ}}$ и $P_{\text{общ}}$ составляет около 33%, а по Si оно достигает 75%, по NO_3^- – 95%, а по $N_{\text{орг}}$ – практически нулевая, что связано с особенностями потребления и трансформации этих веществ в озерных экосистемах.

5. Анализ закисления оз. Пряжинского по гидрогеохимической модели показал, что при современном уровне выпадения сильных кислот данный объект достаточно устойчив к закислению. Изменение показателей кислотно-основного равновесия в озере незначительно, и оно намного ниже критического.

ЛИТЕРАТУРА

- Бейтс Р. Определение pH. Теория и практика. Л., 1968. 398 с.
- Богачев М. А. и др. Отчет «Поиски и оценка запасов подземных вод для водоснабжения п. Пряжа» (Подсчет запасов по состоянию на 01.01.2004 г.). Петрозаводск, 2004. 119 с. Фонды ИВПС КарНЦ РАН.
- Бородулина Г. С., Богачев М. А., Литвиненко А. В. и др. Состояние поверхностных и подземных вод и их использование для питьевого водоснабжения // Гидроэкологические проблемы Карелии и использование водных ресурсов. Петрозаводск, 2003. С. 153–165.
- Голомах Ю. В., Сало Ю. А. Структура многолетнего водного баланса озера Пряжинского // Материалы II Республиканской школы-конференции молодых ученых. Петрозаводск, 2006. С. 45–49.
- Дворак Н. А., Потапова И. Ю., Лозовик П. А. Устойчивость озера Пряжинского к закислению // Материалы II Республиканской школы-конференции молодых ученых. Петрозаводск, 2006. С. 71–73.
- Зекцер И. С. Подземные воды как компонент окружающей среды. М., 2001. 328 с.
- Калмыков М. В. Химический состав донных отложений водоемов среднего участка реки Шуи // Современное состояние водных объектов Карелии. Петрозаводск, 1998. Гл. 5. С. 146–147.
- Кононова М. С., Рыжаков А. В. Химический состав озера Пряжинское // Материалы II Республиканской школы-конференции молодых ученых. Петрозаводск, 2006. С. 74–77.
- Лозовик П. А. Устойчивость водных объектов к закислению в зависимости от их удельного водосбора на примере озер и рек бассейна р. Шуи (Онежской) // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 2.
- Лозовик П. А., Потапова И. Ю. Поступление химических веществ с атмосферными осадками на территории Карелии // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 1. С. 111–118.
- Материалы II Республиканской школы-конференции молодых ученых. Петрозаводск, 2006.
- Петрова А. В., Лозовик П. А. Химический баланс озера Пряжинского // Материалы II Республиканской школы-конференции молодых ученых. Петрозаводск, 2006. С. 81–84.
- Пителина Л. Н., Бородулина Г. С., Тренин В. В. Оценка химического подземного стока в озеро Пряжинское // Материалы II Республиканской школы-конференции молодых ученых. Петрозаводск, 2006. С. 85–88.
- РД 33-5.3.07-96. Качество вод. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации гидрокарбонатов в природных водах титриметрическим методом. М., 1996. 15 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 2. Карелия и Северо-Западная часть, 1972 г.
- Современное состояние поверхностных источников водоснабжения городов и населенных пунктов республики в связи с их охраной от загрязнения и истощения (оз. Пряжинское). Научн. отчет ОВП Карельского филиала АН СССР. Петрозаводск, 1988. 30 с.
- Фрейндлинг В. А. Гидрологическая характеристика некоторых малых озер Южной Карелии // Тр. Карельского филиала АН СССР. Петрозаводск, 1960. Вып. 27. С. 60–90.
- Belkina N. A. Chemical monitoring of sediments // Analytical and sampling methods for environmental monitoring in Lake Ladoga and other large lakes in Russia. Joensuu, 1999. 13. P. 18–21.
- Henriksen A., Kamari L., Posch M., Wilander A. Critical loads of acidity: Nordic surface waters // AMBIO. 1992. Vol. 21. P. 356–363.

СЛОВАРЬ используемых терминов

Автохтонные отложения – отложения, образующиеся из материала, который имеется или продуцируется в самом водном объекте, а не поступает в него извне.

Водосбор – часть территории суши, с которой вода поверхностным и подземным путем стекает в какой-либо водный объект.

Донные отложения – донные наносы и твердые частицы, образовавшиеся и осевшие на дно в результате внутриводоемных физических, химических и биологических процессов, в которых участвуют вещества как естественного, так и антропогенного происхождения.

Евтрофный водоем – водоем, в воде которого наблюдаются высокие концентрации биогенных элементов и органических веществ, способствующие усиленному развитию растительных и животных организмов.

Минерализация – суммарное содержание всех найденных при химическом анализе воды минеральных веществ.

ИЗУЧЕНИЕ ОЗЕРНЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ВОДОЕМОВ ЗАОНЕЖСКОГО ПОЛУОСТРОВА)

Н. А. БЕЛКИНА

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

ВВЕДЕНИЕ

Донные отложения образуются из разнообразных твердых частиц, оседающих на дно за весь период существования водоема. Уникальность каждого водного объекта обуславливает их разнообразие. Накопление вещества в донных отложениях отражает всю совокупность процессов, протекающих как в водоеме, так и на его водосборной площади.

В состав взвесей, поступающих в донные отложения, входят вещества разного генезиса: терригенные частицы – минеральные частицы, привнесенные с поверхностным стоком и в результате абразии берегов; хемотропные частицы – живые организмы и мертвое органическое вещество (детрит), а также осаждаемые из воды в результате химических процессов.

В процессе образования донных отложений выделяется 3 основные стадии: 1) перемещение частиц, 2) осаждение частиц, 3) диагенез осадка. Основная масса речных наносов, поступающая в водоем в период половодья и паводков, оседает в приустьевой части. При разном направлении наносов вдоль берега происходит их окатывание и измельчение. Перемещенные вдоль берега наносы при ветре, дующем перпендикулярно берегу, приходят в движение в направлении, поперечном берегу. В процессе этих движений происходит сортировка наносов по их размерам и удельному весу. Осевшие в приустьевом пространстве взвешенные наносы под влиянием волнения взмучиваются, а при тихой погоде вновь садятся. После более или менее длительного периода повторных оседаний и взмучиваний они, в конце концов, выбрасываются ветровыми течениями и волновыми движениями в открытую и более глубоководную часть водоема. В итоге все тонкозернистые частицы из пределов береговой отмели оказываются выкинутыми, и она складывается из крупнозернистых частиц диаметром больше 0,05 мм, перемещаемых по дну волочением, перекатыванием и сальтацией (прыжками) (Зайков, 1960).

Тонкозернистые частицы, вынесенные течениями и волновыми движениями из прибрежной зоны в открытую глубоководную часть водоема, под влиянием силы тяжести начинают садиться на дно. Масса органических остатков опускается на дно летом и особенно осенью во время «цветения» (бурного развития фитопланктона) и отмирания планктона и

макрофитов. В спокойной воде оседание частиц с диаметром 0,001 мм происходит очень медленно, например, в мелководных водоемах с глубинами до 10–15 м такие частицы осаждаются в течение ближайшего года, при глубине озера 100 м на оседание потребуется около шести лет. В результате разноса и осаждения частиц последние закономерно распределяются по дну водоема. Эта закономерность проявляется в том, что крупность отложений, в общем, постепенно убывает от берега к открытой части водоема. В результате перемещения и осаждения частиц на дне водоема накапливается разнородный материал терригенного, хемотропного и биогенного происхождения, в той или иной степени насыщенный придонной или подземной водой, поступающей с боков или со дна котловины.

Частицы, попавшие в воду озера, подвергаются сложному совокупному воздействию физических, химических и биологических процессов, действие которых продолжается и после осаждения наносов на дно в течение длительного времени. Поэтому состав и свойства донных отложений существенно отличаются от первоначальных свойств частиц. Это различие тем больше, чем крупнее водоем.

Сложнейшие физико-химические и биохимические процессы, развивающиеся в донных отложениях (диагенез), приводят к резкому изменению общих физико-химических условий в самом осадке, минералогическому его составу или структуре, а также к появлению новых минеральных образований. Одновременно изменяется консистенция осадка, и он постепенно уплотняется (литификация).

Важную роль в процессе раннего диагенеза играют животные бентические формы, а главным образом многочисленные микроорганизмы. Бентические организмы размельчают, перемешивают и частично преобразуют и уплотняют илы, пропуская их через свое тело при извлечении питательных веществ, и, наконец, вызывают обмен веществ илового раствора с придонными слоями воды. При жизни они обогащают донные отложения своими экскрементами, а при отмирании пополняют их своими трупами.

Разложение органического вещества с выделением газов, поднимающихся на поверхность водоемов (CO_2 , H_2S и т. д.), в первую очередь связано с жизнедеятельностью микроорганизмов.

Методы исследования

Исследования озерных донных отложений на территории Карелии проводятся ИВПС КарНЦ РАН с 1960 г. Итогом систематизации и обобщения большого фактического материала явился «Каталог озер Карелии донные отложения», в котором даны краткие физико-географические характеристики водоемов, карты-схемы распределения донных отложений и содержания в них органических веществ, общего азота, легкоподвижных форм фосфора и железа (Васильева, Поляков, 1992). Карты-схемы распределения донных отложений составлены Поляковым Ю. К. на основе классификации донных осадков по размеру частиц твердой фазы (табл. 1).

Таблица 1
КЛАССИФИКАЦИЯ ПО РАЗМЕРУ ЧАСТИЦ

Тип донных отложений	Md мм
Валунно-галечные	> 10
Пески	от 0,1 до 10
Крупно-алевритовый ил	от 0,05 до 0,1
Алевритовый ил	от 0,01 до 0,05
Алеврито-пелитовый ил	от 0,005 до 0,01
Пелитовый ил, глина	< 0,005

Отбор проб донных отложений производится дночерпателями Экмана и Петерсона, трубкой ГОИНа, стратометром «Limnos», поршневой трубкой собственной конструкции – модифицированный вариант стратометра Амонсона (Nakanson, Jansson, 1983) и т. д. Монолит донных отложений при необходимости делится послойно по длине колонки в соответствии с генетическими слоями.

Химический состав донных отложений оценивается в настоящее время по следующим характеристикам (Belkina, 1999):

1. Физические и физико-химические характеристики донных отложений (влажность, пористость, удельная масса, толщина окисленного слоя, pH, Eh,);

2. Химический состав:

2.1. Органическое вещество (потери при прокаливании (п.п.п.), $S_{орг.}$, химическое потребление кислорода (ХПК), суточное потребление кислорода, содержание растительных пигментов, гуминовых и фульвовых кислот и др.);

2.2. Биогенные элементы ($N_{орг.}$, формы азота ($N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$), $P_{общ.}$, $P_{мин.}$);

2.3. Металлы;

3. Химический состав надильовых и поровых вод (pH и Eh, $Fe_{общ.}$, Fe^{2+} , $P_{общ.}$, ортофосфаты, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , HCO_3^- , CO_2 , O_2).

4. Загрязняющие вещества (нефтепродукты, тяжелые металлы, фенолы, лигносульфонаты и др.).

Результаты и обсуждение

Основными факторами, определяющими формирование донных отложений озер Заонежского полуострова, являются географическое положение, литологическая основа покровных пород, морфометрические характеристики котловин, гидрологический режим, а также разный трофический статус озер.

Гидрологические и гидрохимические характеристики исследованных озер представлены табл. 2, 3.

Таблица 2
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ОЗЕР ЗАОНЕЖЬЯ (ЛОЗОВИК И ДР., 2005)

Озеро	Площадь зеркала, км ²	Глубина, м		Объем водной массы, км ³	Площадь водосборного бассейна, км ²	К условного водообмена, $V_{пр}/V_{оз}$
		средняя	наибольшая			
Яндомозеро	31,7	4,0	6,0	0,13	96,9	0,24
Ладмозеро	24,8	15,1	52,0	0,38	119,9	0,10
Падмозеро	11,6	3,5	14,9	0,04	100,0	0,78

Таблица 3
ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ОЗЕР ЗАОНЕЖЬЯ (ЛОЗОВИК И ДР., 2005)

Водоем	Класс гумусности	Σ_i		Ионный состав, %-экв.
		мг/л	ммоль/л	
Падмозеро	Мезо	150,8	1,99	Ca58 Mg34 Na6 K2 HCO ₃ 82 SO ₄ 8 A _{орг} 7 Cl3
Ладмозеро	Ультра-олиго	46,3	0,66	Ca59 Mg28 Na11 K3 HCO ₃ 71 SO ₄ 14A _{орг} 9 Cl6
Яндомозеро	Мезо	42,2	0,62	Ca45 Mg38 Na14 K3 HCO ₃ 64 SO ₄ 17A _{орг} 12 Cl7

Оз. Ладмозеро, расположенное в западной части Заонежского полуострова и обладающее котловиной провальнo-тектонического типа, где узкие щели и ямы чередуются с участками спокойного подводного рельефа, отличается наибольшей пестротой в распределении донных отложений по сравнению с тектонико-ледниковой котловиной оз. Падмозеро и ледниковой котловиной оз. Яндомозеро, расположенными в восточной части полуострова (рис. 1, табл. 4).

Таблица 4
ПЛОЩАДИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
ОЗЕР ЗАОНЕЖЬЯ (ВЛАСОВА, 1965)

Озеро	Площадь, км ²	Песок и гравий		Ил с песком		Ил		Ил с рудой		Глинистый ил	
		км ²	%	км ²	%	км ²	%	км ²	%	км ²	%
Яндомозеро	31,7	7,0	20	0,3	1	22,6	73	—	—	1,8	6
Падмозеро	11,6	0,4	5	—	—	2,4	21	—	—	8,8	74
Ладмозеро	24,8	6,5	27	0,5	2	7,6	31	6,1	24	4,1	16

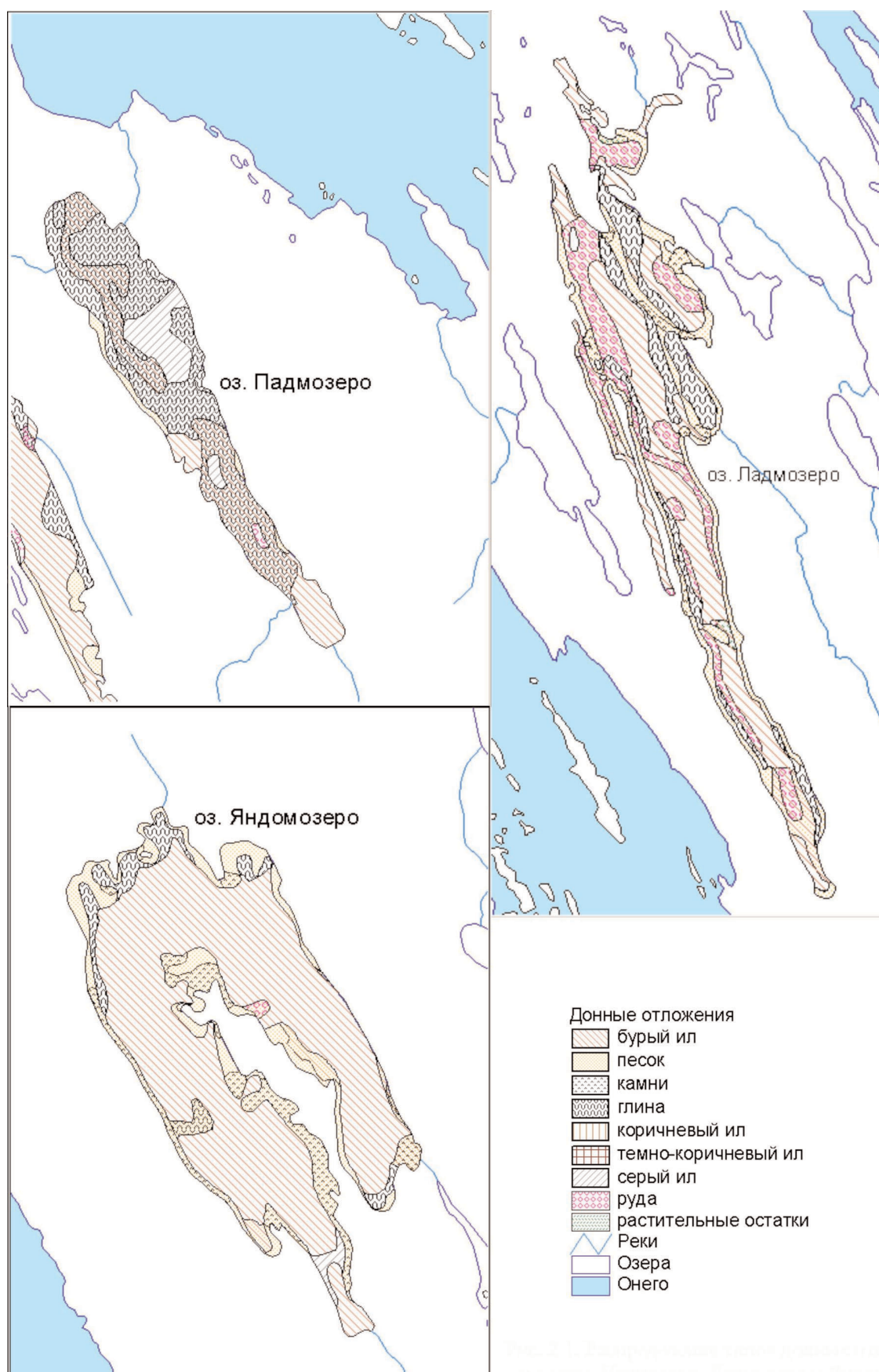


Рис. 1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПОВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР ПАДМОЗЕРО, ЛАДМОЗЕРО И ЯНДОМОЗЕРО

По исследованиям Т. С. Власовой (1965), преобладающим типом осадков этих озер по Md (средней линии частоты встречаемости) являются мелкоалевритовые илы. Зона их залегания определяется глубиной озера, крутизной склонов и динамикой вод. Плотные илы серого цвета характерны для водоемов с малыми скоростями осадконакопления (Ладмозеро). По структуре от них отличаются светло-коричневые, рыхлые органические илы (оз. Яндомозеро). В илах оз. Падмозеро отмечены включения графитовой материнской породы черного цвета. Механический состав донных отложений, залегающих на максимальной глубине, представлен в табл. 5. Донные отложения указанных выше озер имеют различную стратификацию (табл. 6).

Таблица 5
МЕХАНИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ (%)

Озеро	Глубина залегания	Песок	Алеврит	Пелит	Глина
Яндомозеро	4,5	27	42	17	14
Падмозеро	15	1	51	32	16
Ладмозеро	36	17	40	22	22

Таблица 6
ОПИСАНИЕ КОЛОНОК ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Озеро	Описание донных отложений
Яндомозеро	0–28 см темно-коричневый ил; далее серый глинистый ил
Падмозеро	0–0,4 см коричневый наилок; далее чередование слоев черного и серого цвета
Ладмозеро	0–2 см коричневый ил; 2–12 см серо-коричневый ил; 12–30 см серый глинистый ил

Химический состав донных отложений озер Заонежья изучался в 1962, 1999, 2001 гг. (Белкина, 2005; Васильева, 1965).

Хотя в химическом составе донных отложений всех трех озер преобладают минеральные частицы, по характеру седиментационных процессов их можно отнести к озерам разных типов озерного накопления. Так, химический состав донных отложений оз. Ладмозера, формирующегося в обстановке низкого органонакопления и окислительной среды, в большей степени определяется составом материнской породы. На состав донных отложений оз. Падмозера влияют воды р. Падмы. Неглубокое оз. Яндомозеро может быть условно отнесено к классу озер-накопителей органического вещества.

Источники поступления органического вещества (ОВ) в донные отложения этих трех водоемов различны. Например, для оз. Ладмозера – это болотный гумус, для озера Яндомозера – высшая водная растительность и фитопланктон, а для озера Падмозера наблюдается сезонная зависимость (в течение лета – это продукция фитопланктона, по окончании вегетационного периода – высшая водная растительность, в осенний и весенний периоды – болотный гумус). Следствием этого является то, что содержание ОВ в донных отложениях и его

качественный состав также различны. Так, в иловых отложениях оз. Яндомозера ОВ составляет 27%, Ладмозера – 15%, Падмозера – 14% (здесь и далее расчеты выполнены на воздушно-сухой вес осадка). Концентрации растительных пигментов и продуктов их разложения в осадках максимальны для осадков оз. Падмозера (рис. 2). Наибольшее значение суточного потребления кислорода илами зафиксировано для оз. Яндомозера – 6,3 мгО₂/г (3,2 – Падмозеро, 1,2 – Ладмозеро).

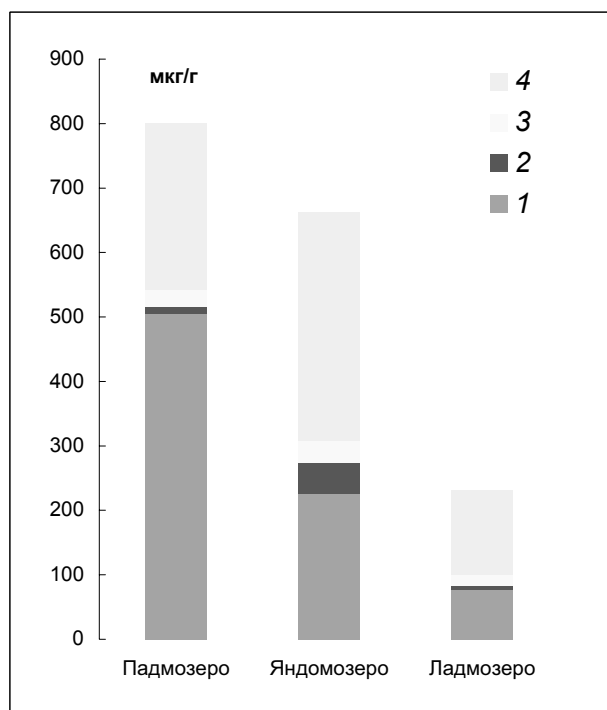


Рис. 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕР ЗАОНЕЖСКОГО ПОЛУОСТРОВА:

1 – Chl a, 2 – Chl b, 3 – Chl c, 4 – феофитин

Содержание в донных отложениях этих озер железа, марганца, биогенных элементов довольно высокое (табл. 7). Концентрации микроэлементов в илистых донных отложениях озер

Таблица 7
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ (%)

Озеро	C _{орг.}	N-NH ₄	N-N _{орг.}	P _{мин.}	P _{общ.}	Mn	Fe
Яндомозеро	14,4	0,10	1,2	0,06	0,12	0,2	3,4
Падмозеро	7,1	0,06	0,8	0,10	0,13	0,4	3,2
Ладмозеро	8,5	0,05	0,5	0,12	0,18	0,3	5,1

Заонежья находятся в пределах кларковых значений и не превышают их концентраций в почвах водосборных территорий. По данным Виноградовой (2005), содержание естественных радионуклидов близко к фоновым, в осадках всех трех озер обнаружен цезий – 137 (до 198 Бк/кг – оз. Ладмозеро).

Заключение

Изучение озерных донных отложений является одним из важнейших аспектов современной лимнологии. Накопление вещества в донных отложениях отражает всю совокупность процессов, протекающих как в водоеме, так и на его водосборной площади. Уникальность каждого водного объекта обуславливает разнообразие встречающихся осадков, исследование которых позволяет получить усредненные по времени и пространству характеристики состояния экосистемы озера в прошлом и в настоящем.

ЛИТЕРАТУРА

Белкина Н. А. Донные отложения озер Заонежского полуострова // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма. Ред. Е. П. Иешко. Петрозаводск, 2005. С. 65–71.

Васильева Е. П. Химический состав донных озер Заонежья // Вопросы гидрологии, озераведения и водного хозяйства Карелии. Вып. XXIII. Петрозаводск, 1965. С. 104–109.

Васильева Е. П., Поляков Ю. К. Каталог озер Карелии донные отложения. Петрозаводск, 1992. 154 с.

Виноградова Н. В. Характеристика радионуклидов в донных отложениях озер Заонежья // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма. Ред. Е. П. Иешко. Петрозаводск, 2005. С. 55–58.

Власова Т. С. Донные отложения озер Заонежья // Вопросы гидрологии, озераведения и водного хозяйства Карелии. Вып. XXIII. Петрозаводск, 1965. С. 93–103.

Зайков Б. Д. Очерки по озераведению. Л., 1960. Т. 2. 239 с.

Лозовик П. А., Басов М. И., Зобков М. Б. Поверхностные воды Заонежского полуострова, химический состав воды // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма. Ред. Е. П. Иешко. Петрозаводск, 2005. С. 35–46.

Фрейндлинг В. А., Поляков Ю. К. Морфология и гидрология озер Заонежья // Вопросы гидрологии, озераведения и водного хозяйства Карелии. Вып. XXIII. Петрозаводск, 1965. С. 61–78.

Belkina N. A. Chemical monitoring of sediments // Analytical and sampling methods for environmental monitoring in Lake Ladoga and other large lakes in Russia. Joensuu, Joensuu yliopistopaino, 1999. № 3. P. 18–21.

Hakanson L. & Jansson M. Principles of lake sedimentology. Berlin, 1983. 316 p.

СЛОВАРЬ используемых терминов

Диагенез – совокупность изменений осадка от первоначального его вида до метаморфических пород.

Донные отложения – слои, образовавшиеся из разнообразных частиц, отложившихся за весь период существования водоема на дне и склонах его котловины.

Литификация – диагенетические процессы, в результате которых несцементированный осадок превращается в осадочную породу с высокой плотностью.

Литосфера – верхняя твердая оболочка Земли, включающая земную кору и жесткую часть верхней мантии.

Терригенные частицы – взвешенное вещество, состоящее из минеральных частиц, привнесенных в водоем с поверхностным стоком и в результате абразии берегов.

Хемотропные частицы – взвешенное вещество, состоящее из живых организмов и мертвого органического вещества (детрита), а также веществ, осаждаемых из воды в результате химических процессов.

СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТРОПЫ «ОЗЕРО ПРЯЖИНСКОЕ»

А. В. Толстикова, М. С. Потахин, М. С. Богданова

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Экологические тропы (тропы природы) – одна из самых популярных форм природоохранной и просветительской работы во всем мире.

История создания экологических троп

Впервые понятие «природная тропа» появилось в США. В начале XX в. лесничий Бентон Маккей предложил учредить нечто вроде «за-

поведника для пешеходов» – проложить маршрут по Аппалачскому хребту. В 1922 г. длина тропы через все Аппалачи от штата Мэн до Джорджии составила 3 300 км. Впоследствии подобные тропы стали возникать в национальных парках Америки, а также в других странах мира (Канада, Франция, Япония и др.). Так, например, на Тайване в 2003 г. началась работа над проектом, предусматривающим превращение одной из дорог в окрестностях Тайбэ в образцовую «тропу бабочек».

В России подобная тропа появилась еще до революции (1916 г.). В Крыму, в 7 км от Суздака, вдоль скал была вырублена пешеходная тропа, ее называют Голицынской, так как строительство проводилось по указанию князя Л. С. Голицына. Следует отметить, что Голицынская тропа (как и Аппалачская) преследовала познавательно-рекреационные цели, т. е. была предназначена для общения с природой и для активного отдыха. По своему характеру эти тропы были ближе к туристским, нежели к учебным и экологическим (Чижова и др., 1989).

На Севере России первая экологическая тропа появилась в 1930 г. на территории Полярно-альпийского ботанического сада (Кольский полуостров). Этот маршрут носит название «Тропа географов». Он проходит по северо-восточному склону г. Вудъяврчорр и по своему назначению исполняет роль экологической тропы. Проходя по нему, можно ознакомиться с растительностью трех высотных поясов (Похилько, 1994).

В 1960-х гг. на территории России началось широкое распространение учебно-познавательных троп. Инициатором их создания стал Тартуский кружок охраны природы, организованный в 1958 г. под руководством Я. Х. Эйларта. В Лахемааском национальном парке (также Эстония) большой популярностью стали пользоваться маршруты, по которым было организовано прохождение групп под руководством экскурсовода или самостоятельное, с помощью плана маршрута и буклета с описанием объектов. По опыту Прибалтики аналогичные маршруты стали прокладываться и в других республиках бывшего СССР. В Москве первая учебная тропа была создана в 1981 г. в Измайловском парке культуры и отдыха учащимися 446 средней школы (Практические рекомендации..., 2000).

В Карелии деятельность по созданию экологических троп стала развиваться в 1980-е гг. Есть две методические разработки: Л. В. Морозовой «Методика однодневного похода» (1982), К. А. и И. К. Андреевых «Экологические тропы Карелии» (1991). На о. Валаам с 1985 г. существовал маршрут, разработанный клубом «Коряга» из Московской области. Экологические тропы созданы на территории ботанического заказника «Сортавальский», в курортных лесах санатория «Марциальные Воды», в Парке культуры и отдыха г. Петрозаводска. Существуют

разработки юных исследователей: проект эколого-познавательных маршрутов на территории национального парка «Паанаярви» (школа-лицей № 40), экологическая тропа «Родничок» в микрорайоне Древлянка г. Петрозаводска (средняя школа № 43) и др. (Практические рекомендации..., 2000). В 2006 г. была организована экологическая тропа на о. Кизи (рис. 1).



Рис. 1. ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЩИТ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТРОПЫ о. КИЗИ

Экологические тропы.

Цели и принципы организации

Экологические и учебные тропы создаются с целью:

- экологического обучения и воспитания;
- отдыха посетителей;
- сохранения природы в прилегающей зоне (Чижова и др., 1989).

Экологические тропы можно классифицировать по разным критериям, прежде всего по длине маршрута. Как и туристические маршруты, экологические тропы могут быть линейными, кольцевыми и радиальными.

В. П. Чижова и др. (1989) предложили необходимые требования к выбору маршрута тропы:

1. **Привлекательность** троп для посетителей складывается из трех компонентов: красоты природы, ее своеобразия, разнообразия. Следует избегать больших участков с монотонными однотипными природными сообществами. Необходимо чередование открытых

пространств с лесными тропинками, ровного и пересеченного рельефа, уголков нетронутой природы с участками, которые подвергались значительному антропогенному воздействию.

2. Доступность. Посетители не должны ощущать физической и нервной усталости к тому моменту, как они сделают первые шаги по тропе.

3. Информативность. Способность удовлетворять познавательные потребности людей в области географических, биологических, экологических и иных проблем – неперенное свойство троп. Получаемую здесь информацию условно можно разделить на познавательную, просветительскую и предписывающую. Каждому виду информации соответствуют «свои» объекты на маршруте. Натуральные объекты выступают источником преимущественно познавательной информации. Это виды растений, животных, формы рельефа, почвы, горных пород и другие элементы живой и неживой природы. Для каждого маршрута желательно иметь информационное сопровождение в виде паспорта или буклета. В таком буклете должны быть не только схема маршрута с указанием мест оборудованных стоянок и наиболее благоприятного времени года для путешествия, но и перечень самых привлекательных пейзажей, научно-популярное описание наиболее интересных природных и историко-культурных объектов, расположенных на маршруте.

Познавательные тропы на особо охраняемых территориях прокладываются специалистами, а учебные – преимущественно силами общественности в зонах массового отдыха.

Создание маршрута экологической тропы включает в себя:

- составление схемы тропы, выявление на местности имеющихся объектов;
- укрепление дорожно-тропиночного полотна (очистка от камней, сухих деревьев, засыпка мелких ямок, покрытие настилом);
- искусственное вписывание некоторых объектов наблюдения в ландшафт тропы и т. п.

Оформление экологической тропы состоит из следующих пунктов:

- установления информационных указателей стоянок маршрута;
- установления информационных щитов;
- оборудования рекреационных зон (скамеек, столиков, кострищ, простейших спортивных сооружений);
- огораживание объектов тропы (муравейников, растений и т. п.) и т. д.

Таким образом, создание экологической тропы – это довольно трудоемкое и затратное мероприятие, поэтому одной из «удобных» форм ее организации может стать создание виртуальной экологической тропы или, другими словами, применение компьютерных технологий в визуализации маршрутных объектов тропы.

Для образовательных и просветительских целей в последнее время все большую роль играет применение геоинформационных технологий. Геоинформационная система (ГИС) – это автоматизированная система для работы с графическими и тематическими базами данных, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственных данных (Филатов, 1997; Хромых, 2003). Важное значение на этом пути имеют такие функции ГИС, как описание объекта, поскольку ГИС обладает большим потенциалом визуализации, а также объяснение, так как ГИС упрощает восприятие большого объема информации, сочетая различные формы представления данных, например, видео и аудио. Чтобы сформировать для себя образ какого-либо географического объекта, лучше не только сто раз про него услышать и один раз увидеть, но и иметь возможность оперативно обращаться к информации, когда это необходимо. В строгом соответствии с определением ГИС (см. выше), конечно, трудно создать виртуальную экологическую тропу, поскольку неотъемлемой частью ГИС является точная картографическая основа, а одной из главнейших функций – моделирование. В нашем же случае важно и упростить их восприятие, поэтому в данном случае здесь стоит говорить не о ГИС-технологиях, а о создании мультимедийного диска.

В создании интерактивного интерфейса такой виртуальной экологической тропы целесообразно использовать документ, сделанный в формате HTML. Привычный вид Web-страницы поможет пользователю легко сориентироваться в разделах карты электронного ресурса.

В рамках проекта ИНТЕРРЕГ III лабораторией географии и гидрологии Института водных проблем Севера создана экологическая тропа «Озеро Пряжинское», рассчитанная на экологическое воспитание школьников и студентов. Озеро Пряжинское достаточно хорошо исследовано для сведения всех знаний, полученных при его изучении, в отдельный электронный справочник.

Интерфейс предлагаемой виртуальной экологической тропы выглядит следующим образом (рис. 2).

Виртуальная экологическая тропа «Озеро Пряжинское» представлена в виде мультимедийного DVD диска, поскольку такая форма подачи материала наиболее удобна для использования и распространения.

В отличие от обычной экологической или учебной тропы, где время на прохождение маршрута строго регламентировано, виртуальная тропа не ограничена ни временными, ни пространственными рамками.

Первый раздел виртуальной экологической тропы содержит карту озера мелкого масштаба и нитку маршрута.

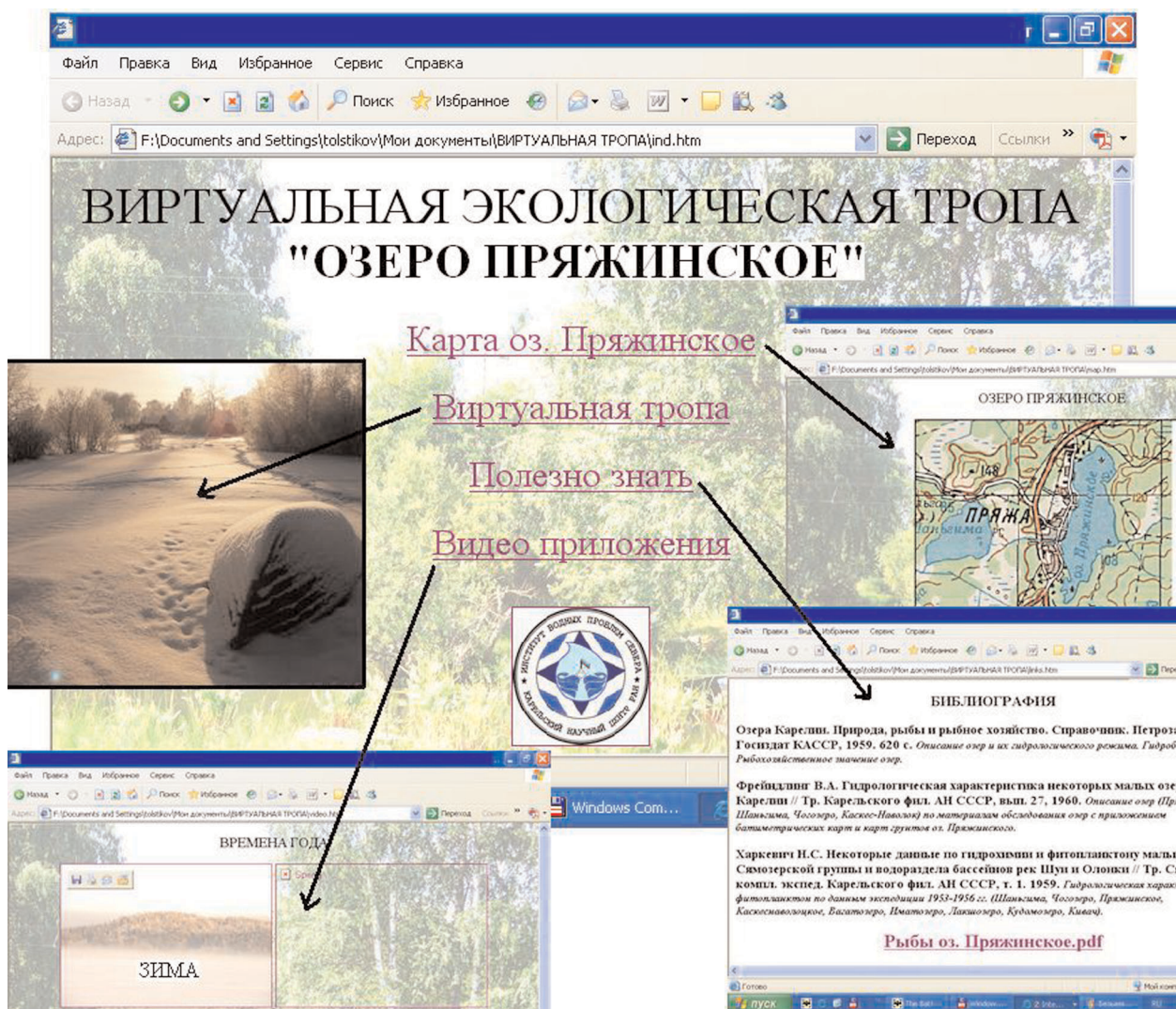


Рис. 2. ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС ВИРТУАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТРОПЫ



Рис. 3.1, 3.2, 3.3. ЛАНДШАФТЫ ПОБЕРЕЖЬЯ оз. ПРЯЖИНСКОЕ

В описание маршрута экологической тропы «Озеро Пряжинское» входят основные природные комплексы (болото, луг, лес, пляж) ландшафта территории, а также интересные объекты, например, эрратические валуны, ручей Дегенс, озовые гряды (рис. 3).

Помимо природных объектов отмечены историко-культурные: традиционные жилища карелов-людигов, элементы материальной культуры, а также следы современного антропогенного воздействия на водоем и его водосбор, на недавно построенный водозабор подземных вод.

Каждый объект, отмеченный на тропе, как и в обычной экологической тропе, содержит интерактивный щит с подробным описанием.

В электронном ресурсе можно совершить экскурс в прошлое, пользуясь соответствующей гиперссылкой, а при наличии доступа к Интернету на компьютере пользователя в онлайн-режиме с помощью дополнительных адресов различных Web-сайтов, размещенных на диске, легко расширить количество имеющихся данных с 4,7 Гб до ничем не ограниченного объема.

Приложения содержат видеообразы перечисленных ландшафтов в различное время года.

При всей своей простоте, удобстве и незначительных денежных вложениях виртуальная тропа не нарушает принципов организации и требований к созданию традиционных экологических троп (см. выше), однако по понятным причинам не способна полностью их заменить, хотя может стать важным дополнением в сфере экологического воспитания школьников и студентов.

ЛИТЕРАТУРА

Денисов А., Вихарев И., Белов А. Интернет. Самоучитель. СПб., 2000. 464 с.

Похилько А. А. Экологическая тропа // Экология и охрана природы Кольского Севера. Апатиты, 1994. С. 256–261.

Практические рекомендации по исследованию экосистем Карелии. Петрозаводск, 2000. 102 с.

Реймерс Н. Ф. Природопользование. Словарь-справочник. М., 1990. 637 с.

Чижова В. П., Добров А. В., Захлебный А. Н. Учебные тропы природы. М., 1989. 157 с.

Филатов Н. Н. Географические информационные системы. Применение ГИС при изучении окружающей среды. Петрозаводск, 1997. 104 с.

Хромых О. В. Компьютерная графика для географов. Томск, 2003. 108 с.

СЛОВАРЬ используемых терминов

Интерфейс – совокупность средств и правил, обеспечивающих взаимодействие вычислительных систем, входящих в их состав устройств, программ, а также пользователя с системой (Хромых, 2003).

Мультимедиа – объединение высококачественного изображения на экране компьютера (в том числе компьютерной анимации и видеокадров) с реалистическим звуковым сопровождением (Хромых, 2003).

Учебная тропа – специально оборудованный и тщательно изученный особо охраняемый путь (тропа, неширокая дорога) в местах, где окружающая природа позволяет экскурсоводам передать учащимся знания о естественных явлениях и объектах, создать предпосылки для экологического воспитания и природоохранного мышления (Реймерс, 1990).

Экологическая тропа – маршрут, проходящий через различные природные объекты, имеющие эстетическую, природоохранную и историческую ценность, на котором идущие (гуляющие, туристы и др.) получают устную или письменную (аншлаги, стенды и т. п.) информацию об этих объектах. Одна из форм воспитания экологического мышления и мировоззрения (Реймерс, 1990).

HTML (Hyper Text Markup Language) – язык гипертекстовой разметки, позволяющий управлять форматированием, размещением и функциональностью содержащихся на Web-странице элементов (Хромых, 2003).

Web-страница (от World Wide Web или WWW) – система представления и обмена информацией в Интернет (Денисов и др., 2000).

ИЗУЧЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ И ИЗМЕНЕНИЯ ПРИАКВАЛЬНЫХ ГЕОКОМПЛЕКСОВ

С. Б. Потахин, М. С. Богданова

*Карельский государственный педагогический университет,
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН*

Береговые ландшафты различных водных объектов испытывают значительные антропогенные нагрузки в результате как прямого, так и косвенного воздействия. Это воздействие оказывают промышленные предприятия, сельскохозяйственное производство, водный транспорт, рекреационная деятельность. И выражается оно в накоплении бытовых и промышленных отходов, изменении естественного состояния приаквальных геокомплексов, ухудшении местообитаний представителей животного мира. Многочисленные костровища, скопления мусора, пятна нефтепродуктов на водной поверхности, поврежденные или вырубленные деревья – это довольно типичная картина береговой линии многих рек, озер, водохранилищ, морей.

Нынешнее состояние береговых природных комплексов вызывает необходимость изучения и неотложного принятия мер по ликвидации загрязнения и сохранения экологического и эстетического потенциала побережий. А для этого необходимо проведение исследований по выявлению величины, состава и источников загрязнения береговой линии, определению направлений и причин преобразования приаквальных ландшафтов.

Основными задачами исследования приаквальных геокомплексов являются:

- сбор фактического материала;
- анализ собранных материалов;
- оценка современного состояния геокомплексов;
- выработка рекомендаций по предотвращению загрязнения и утилизации мусора, скопившегося на берегах, по оптимизации рекреационной деятельности.

К основным источникам загрязнения водоемов относятся водный транспорт, плоскостной смыл с селитебных (заселенных), промышленных и сельскохозяйственных территорий, рекреационная деятельность.

Подсчет загрязнения. При подсчете загрязнения береговой линии используются площадной и маршрутный способы.

Площадной способ заключается в произвольном выборе площадки на побережье озера площадью 10 м². Для этого на колышки натягивается шнур различной, в зависимости от конфигурации, длины. Таким образом, площадка может иметь произвольную форму: например, вытянутую вдоль береговой линии – длиной 10 м и шириной 1 м или длиной 5 м и шириной 2 м; или квадратную форму – примерно 3,17×3,17 м и т. д.

Маршрутный способ включает оценку количества и качества мусора на протяжении примерно 200 погонных метров побережья при ширине полосы от 10 до 20 м. На протяжении каждого километра побережья выбирается несколько контрольных площадок. Общий объем мусора рассчитывается на длину всего исследуемого участка побережья.

Детальные измерения составных компонентов мусора производятся при помощи рулетки (линейки) и весов. Оценивается объем, площадь или вес различных компонентов мусора. Металлические, пластиковые и стеклянные бутылки, пакеты, банки, детали механизмов и т. п. оцениваются по весу; полиэтилен – по площади; древесина, шунгизит, пенопласт – по объему. Для удобства подсчета необходимо заранее взвесить наиболее встречаемые предметы: бутылки, банки и другие виды тары.

Объем древесины определяется с использованием формулы объема цилиндра:

$$V = \pi R^2 H,$$

где V – объем ствола; R – радиус ствола; H – длина ствола.

Объем шунгизита подсчитывается с использованием формулы объема шара:

$$V = 4/3 \pi R^3,$$

где R – радиус.

Результаты подсчетов по каждой точке (площадке) заносятся в заранее подготовленный бланк (табл.).

Следует учитывать и специфические загрязнители, встречающиеся по побережьям, – корпуса судов и лодок, колючая проволока заградительных сооружений, пищевые отходы и т. д.

Для примера приведем некоторые результаты исследования загрязнения побережья Онежского озера.

Подсчет загрязненности побережья Петрозаводской губы был проведен на участке мыс Шуйнаволоок – пос. Соломенное, общей протяженностью 13,5 км. Было заложено 14 пробных площадок размерами 10×1 м. На каждой площадке подсчитан бытовой и производственный мусор: полиэтилен, пенопласт, пластмасса, древесина, стекло, шунгизит. Учитывая разную разбросанность материала по побережью, при подсчете общего загрязнения бралась прибрежная полоса различной ширины: для стекла эта полоса составляла 3 м, для полиэтилена, пенопласта, пластмассы и древесины – 5 м, для шунгизита – 7 м. Результаты исследования показали, что на побережье скопилось



Рис. 1. УТИЛИЗАЦИЯ МУСОРА
СБОР И ПОДСЧЕТ МУСОРА НА ПОБЕРЕЖЬЕ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА
БЕРЕГ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА В ЧЕРТЕ Г. ПЕТРОЗАВОДСКА

БЛАНК ОПИСАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ КЛЮЧЕВОГО УЧАСТКА

Название водоема, водотока:	
№ площадки	Площадь участка, м ²
Дата сбора	Местоположение
Тип береговой линии*	
Экспозиция берега:	
Загрязнители:	
Стекло, кг	
Пенопласт, м ³	
Полиэтилен, м ²	
Пластмасса, кг	
Древесина, м ³	
Металл, кг	
Шунгизит, м ³	
Другие загрязнители	
Состояние береговых геоккомплексов**	
Название геоккомплекса:	
Виды воздействия	Результаты воздействия
1.	1.
2.	2.
3.	3.

Примечание. * Указывается тип берегов (аккумулятивный или абразионный) и вид аккумулятивных отложений (илы, торф, песок, галька) или коренных пород.

** Указывается вид воздействия (промышленное, сельскохозяйственное, рекреационное, транспортное и др.), наличие костровищ, построек, фауных деревьев, разрушений береговой линии (водная абразия) и др.

121,5 кг стекла, 480 м² полиэтилена, 75,5 м³ пенопласта, 283,5 кг пластмассы, 4 864 м³ древесины и 2,7 м³ шунгизита.

Наиболее очищенными от древесины, пластмассы и пенопласта являются участки между дачными поселками Бараний Берег и Зимник. Значительные скопления древесины наблюдаются на участках Шуйнаволоку – Заячья Губа и в 1–3 км от Зимника в сторону пос. Соломенное. Шунгизит встречается не только на береговой линии, но и в почвенных горизонтах А₀ (лесная подстилка) и А_д (дернина) прибрежных лесов и зарослей кустарников.

Естественная утилизация. Во время проведения исследований нами наблюдались примеры естественной утилизации мусора, которые разительно отличаются в зависимости от типа побережий. Так, на песчаных пляжах многометровые полиэтиленовые полотна в течение суток прикрывались озерным песком. То же самое происходило и с другим мусором, в частности, с древесиной: занесенные песком бревна встречаются повсеместно. На скальных, валунных и галечниковых побережьях отмечалось образование стекольной гальки. Например, на участке между пос. Зимник и урочищем Чертов Стул нами был отмечен небольшой галечниковый пляж, состоящий на 30% из стекольной гальки. Основная часть мусора концентрируется на дне водоемов.

Мероприятия по утилизации отходов. Загрязнители, скапливающиеся на побережьях, можно утилизировать несколькими путями.

Вывоз. Самым оптимальным способом утилизации является вывоз мусора на городские и другие свалки. Однако проведение этого мероприятия в настоящее время является нереальным, во-первых, из-за транспортной недоступности большинства участков побережья, во-вторых, из-за высокой стоимости выполняемых работ.

Сжигание. Наиболее часто практикуемым способом уничтожения мусора является его сжигание. Однако уничтожение мусора (в частности, пластмассовых изделий) этим способом может привести к выбросу в атмосферу значительного количества загрязнителей.

Складирование. Для туристских и рыбацких стоянок характерно складирование мусора. Первый путь – закапывание. Практически на каждой стоянке имеются ямы для отходов. Но увеличение рекреационно-туристского потока может привести к повсеместному уничтожению как растительного, так и почвенного покрова. Второй путь – складирование на земной поверхности, что, естественно, приведет к снижению перцепционных свойств мест отдыха.

Предложенная методика позволяет проводить исследования по изучению загрязнения береговой линии рек и озер силами студентов и школьников. В частности, учащимися лицея № 40 уже на протяжении ряда лет проводится мониторинг загрязнения береговой линии Петрозаводской губы Онежского озера, а студентами естественно-географического факультета КГПУ изучается загрязнение берегов Онежского и Ладожского озер, а также более мелких водоемов: Сямозера, Шотозера и некоторых рек.

СЛОВАРЬ используемых терминов

Абразия (от лат. abrasio – соскабливание) – разрушение берегов морей, озер, водохранилищ волнами.

Аккумуляция (от лат. accumulatio – накопление) – общее название всех процессов накопления рыхлых минеральных и органических осадков. Различают водную, ветровую (эоловую), ледниковую, антропогенную и другие виды аккумуляций.

Берег аккумулятивный – тип береговой линии, где за счет волновых движений происходит накопление минеральных и органических материалов.

Берег абразионный – тип береговой линии, где волновые движения служат причиной разрушения пород, слагающих побережье.

Геокомплекс – синоним термина «геосистема». Существует несколько групп определений этого понятия. В первой геокомплекс (геосистема) рассматривается как природное образование. Во второй группе в качестве геокомплексов рассматриваются сложные земные образования, включающие в себя одновременно элементы природы, населения и хозяйства. В третьей группе определений на состав элементов не накладывается ограничений: термин используется для обозначения любых территориальных систем (природных, социально-экономических, природно-технических и др.).

Коренная порода – горная порода, залегающая на месте своего образования и мало измененная процессами выветривания.

Перцепционные свойства (лат. perceptio – представление, восприятие, от percipio – ощущаю, воспринимаю) – в данном случае привлекательные свойства внешнего облика ландшафта.

Утилизация – (франц. utilisation, от лат. utilis – полезный) – извлечение из бытовых отходов ценных и негорючих компонентов с последующим сжиганием или сбраживанием органических веществ для получения энергии и сырья для производства стройматериалов, компостов и т. п., использование промышленных отходов в качестве вторичного сырья, топлива, удобрений и для других целей.

Фаутные деревья – деревья с различными повреждениями ствола.

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ УЧЕБНЫХ ПОЛЕВЫХ ПРАКТИК

С. П. Гриппа, И. В. Щеколдина

Карельский государственный педагогический университет

На проведение практических полевых занятий в школьных курсах дисциплин естественно-научного цикла отводится весьма малое количество часов. В соответствии с требованиями государственного образовательного стандарта они проводятся в течение всего учебного года, в те сезоны года, когда изучаются соответствующие разделы. Форма проведения этих практических работ урочная. Учащиеся, получив задания, осуществляют при непосредственной помощи учителя необходимые наблюдения за объектами исследований, измеряют показатели атмосферы, фиксируют данные наблюдений в полевых дневниках или на стенде «Прогноз

погоды». Результаты наблюдений можно обсудить на последующих уроках в виде повторения материала. Такая форма работы позволяет закреплять полученные теоретические знания. Однако она, вероятнее всего, приемлема в школьных курсах общеобразовательных школ без выделенных дополнительных часов на естественнонаучные дисциплины. Для более глубокого изучения географии, биологии и экологии необходимо существенное увеличение часов на аудиторное обучение и, наверное, в первую очередь, на практические исследования, выполняемые в виде обобщающих многодневных полевых занятий.

Наиболее оптимальной формой для углубленного изучения природы своей местности, региона или страны являются факультативные занятия, летние лагеря соответствующего профиля или создание специальных групп из учащихся разных классов (например, «Школьный экологический центр»). На такую форму работы администрацией образовательного учреждения выделяется большее количество часов, необходимых материальных средств и дополнительное финансирование. Для реализации программ полевых лагерей возможно привлечение как собственных средств учреждения, так и муниципальных и региональных органов образования. Кроме этого, можно использовать спонсорскую помощь.

Собственно программы полевых лагерей могут явиться основой для проектной деятельности в области изучения природы. Например, в последние годы в Республике Карелия органами образования различного уровня осуществляется поддержка проведения профильных летних лагерей, в том числе и так называемых экологических. Развитие проектной деятельности стимулируется фондами, курирующими образование и воспитание детей. И при желании учитель-естественник имеет возможность организовать полевой практикум для углубленного изучения своих дисциплин, формирования навыков исследовательской деятельности и воспитания любви к природе и своей Родине.

Организация полевой практики

Частными целями полевых исследований является формирование экологических навыков наблюдения за природой родного края и его охраной. Знакомство с научными методами исследования природных объектов и систем, проведение мониторинговых работ, изучение местных геоконплексов, выявление их уникальности, изучение взаимосвязей живых организмов в данных сообществах и степени влияния человека на них – очерчивает круг интересов исследователей и определяет конкретные задачи полевых практик. В ходе летней полевой экологической практики решаются такие задачи, как формирование умений наблюдать не просто природные объекты и явления, а устанавливать взаимосвязи человека с природой, оценивать способы природопользования, принимать участие в делах охраны природы. Таким образом, одним из важнейших направлений работы со школьниками является формирование нравственного сознания и чувства ответственности за свое поведение в природе, осознания больших возможностей человека в природоохранной деятельности. Эстетическое восприятие природы также является важнейшей частью воспитательного процесса.

Основными этапами организации полевых исследований могут быть такие:

1. Выбор типа лагеря для проведения полевой экологической практики: стационар-

ный 6–7 дней или с дневным пребыванием 10 дней;

2. Составление рабочих групп: постоянных или сменных;

3. Выбор природных объектов для исследования;

4. Определение видов практических работ: общих и индивидуальных наблюдений, экспериментов, экскурсий;

5. Ведение полевых дневников (записи, бланки, рисунки, фотографии);

6. Сбор коллекционного материала (гербарий, почвенные образцы, древесные спилы или керны);

7. Индивидуальные творческие задания;

8. Полезные дела (очистка леса, водоема, родника от мусора);

9. Обработка информации, построение картосхем, диаграмм, обобщения и выводы;

10. Отчет о полевой практике: индивидуальный и групповой;

11. Подготовка материалов к школьной конференции;

12. Подготовка докладов к конференциям более высокого ранга.

Весь фактический материал, собираемый учащимися в процессе работы, может в дальнейшем служить основой для докладов на конференциях или использоваться на уроках. Полевые практики проводятся в каникулярное время, чаще всего по окончании учебного года. При этом совмещаются отдых и обучение школьников. Обычно практики проводятся в летнее время с выездом в поле в различные районы Карелии или в окрестностях г. Петрозаводска. При проведении зимних практик также используется период каникул, однако можно их проводить и в выходные дни.

Полевые исследования различных геоконплексов предусматривают знания школьниками основ физической географии, в частности геологии и геоморфологии, а также биологии и химии. Формы рельефа и почвенный покров изучаются школьниками не только как основные компоненты природных геосистем, но и как система взаимодействующих единиц природного комплекса. При таком подходе учащиеся получают наиболее полное представление о связях, существующих в природе. По завершении комплекса практических работ школьники закрепляют знания, полученные на уроках, и приобретают опыт работы с приборами и оборудованием.

Основным принципом построения всех видов работ на практике можно считать системный подход. В нашем случае мы используем его с целью объяснения. Он позволяет ответить на вопрос: как взаимодействуют между собой такие, на первый взгляд, разные природные компоненты, как рельеф и почвы; как возникает природное единство – геоконплекс, сочетая рельеф и почвы как естественный каркас.

Многое, происходящее в природе, можно объяснить, наблюдая причинно-следственные связи, чему призван помочь системный анализ. Применение генетического, структурно-функционального, географического и картографического методов исследований помогает всесторонне изучить рельеф как лимитирующий вещество и энергию фактор, а почвы как «зеркало ландшафта».

Школьники, прошедшие через систему полевых практик, как правило, получают навыки общения в коллективе в полевых условиях (иногда экстремальных: например, связанных с плохой погодой). Они осваивают специфику полевого быта: постановку палаток, заготовку дров, разжигание костров, приготовление пищи для большой группы; учатся вести себя в природе, в том числе с точки зрения безопасности жизнедеятельности.

ПРОВЕДЕНИЕ ПОЛЕВЫХ ПРАКТИК ПО ГЕОМОРФОЛОГИИ И ПОЧВОВЕДЕНИЮ

Полевые геоморфологические исследования. Изучение форм земной поверхности представляет большой практический интерес, так как рельеф является ведущим элементом географического ландшафта, в значительной степени определяющим собой характер всех прочих ландшафтных элементов. Геоморфологические исследования необходимы при построении дорог, гидротехнических сооружений, при устройстве каналов, водохранилищ, портов, при землеустройстве, планировке городов, при поисках месторождений полезных ископаемых, при ландшафтных, почвенных и геоботанических съемках и т. д.

Полевые геоморфологические исследования несут в себе систему знаний и подходов к определению и описанию форм поверхности территории, их генезиса, строения слагающих пород, измерению элементов неровностей, а также интенсивности происходящих на ней процессов. При проведении полевых работ необходимо помнить, что время – важный элемент в геоморфологических исследованиях. Редко удается наблюдать рельеф в развитии, однако, изучая протекающие сегодня процессы, как правило, можно предсказать будущие изменения его форм. Преимущественно рельеф меняется незаметно для глаза. Жизнь его форм намного продолжительнее жизни человека. Дедуктивные рассуждения от частного к общему не должны исключать проверку представлений путем измерения соответствующих характеристик формы, вещества и процессов, составляющих ландшафт.

Прежде чем определить тип рельефа, необходимо установить его происхождение. Чаще всего геоморфолог отображает формы поверхности посредством нанесения на карту условных знаков. Такой метод включает в себе больше информации, чем фиксация границ

между крутыми и пологими склонами; он особенно удобен, если условные обозначения наносятся на рабочую карту, имеющую горизонталь. Горизонталь передает высоту местности, а форма поверхности характеризуется условными знаками, и при этом с большей точностью, чем изолиниями.

Также интересно иметь представление о форме поперечного профиля возвышенностей или склонов долины. С этой целью создаются профильные карты, которые дают наглядное представление, например, о глубине вреза реки или крутизне созданного им склона. Крутизну склонов теперь определяют с помощью довольно простого инструмента – склонового эклиметра, а профиль можно вычертить, используя простейший школьный нивелир. Изучением вещества Земли, ее горных пород и почвы занимаются не только геоморфологи, но и геологи, агрономы и почвоведы.

Анализ может заключаться лишь в составлении карты, чтобы наглядно показать форму наблюдаемых объектов. Иногда информация может быть цифровой, и тогда применяются статистические методы. С их помощью полученные данные систематизируются, а результаты наблюдений подвергаются анализу, чтобы получить средние значения измеряемых величин и их полный набор. Порой статистические методы по имеющимся данным позволяют сделать заключения, которые в свою очередь порождают новые идеи, ведущие к новым полевым исследованиям.

Для успешного проведения полевых исследований и получения результатов необходимо иметь общий алгоритм проведения работ. Поэтапное его прохождение позволит избежать ошибок или пропусков в работе. Первоначально составляют план исследований, изучают дополнительную литературу по территории, анализируют картографический материал (топографические, геологические и общегеографические карты).

На первом этапе необходимо сразу определиться – какие формы рельефа являются первичными (основными) для исследуемой территории: гляциальные, эоловые, флювиальные, береговых процессов и другие, а какие вторичными (наложенными на основные).

Второй этап – непосредственное знакомство с территорией, рекогносцировка на местности: определение наиболее показательных в геоморфологическом отношении площадок, направлений профилей, маршрутов.

На третьем этапе проводят измерения элементов рельефа, картографируют их, вычерчивают профили; изучают состав, строение и залегание горных пород, а также проводят их градиометрический анализ. Важным пунктом на этапе исследований является регистрация современных процессов рельефообразования. Далее следует камеральная обработка результатов (сначала в полевых, а затем в лабораторных условиях) и подготовка общего отчета.

Среди элементов рельефа различают положительные формы, выпуклые, представляющие относительные повышения, и отрицательные, вогнутые, представляющие относительные понижения. По масштабу элементарных форм различают: микрорельеф (колебания высот не превышают 1–2 м, чаще же долей метра), мезорельеф – с колебаниями высот от нескольких метров до нескольких десятков метров (чему обычно соответствуют и размеры занимаемой площади) и макрорельеф – с еще большими амплитудами высот. Термины эти употребляются произвольно и точных числовых величин для их разграничения не установлено. Поэтому следует давать морфометрическую характеристику форм рельефа в виде числовых величин (в мерах длины, площади или объема).

Определение морфометрических показателей в полевой обстановке очень важно, так как эти величины дают наиболее ясное, вполне конкретное представление о характеризующих формах. Размеры, записанные в полевой дневник, полезно дополнять и другими описательными данными. Так, например: «вершина холма, средней относительной высоты до 10 м имеет в профиле округлую (плоскую, усеченную, или острую) форму», или – «термокарстовая воронка с крутыми склонами (до 45°) и глубиной 8 м имеет изрезанные эрозионными рывтинами борта». При определении размеров небольших форм рельефа можно измерять расстояния шагами или рулеткой, а для более крупных форм пользоваться угломерными инструментами.

Другой важнейшей задачей исследования является установление происхождения (генезиса) и времени образования форм рельефа. Эти вопросы легче всего решать в полевой обстановке, так как надо учитывать все особенности географической среды, определяющей комплекс экзогенных рельефообразующих сил. Для понимания происхождения рельефа и многих внешних его черт необходимо также знание геологического строения местности – характера слагающих ее горных пород и условий их залегания. Очень существенны физические и химические свойства пород: проницаемость или водоупорность, растворимость, трещиноватость, однородное или неоднородное сложение, химическая устойчивость в условиях земной поверхности и т. д. Совокупность этих свойств делает горные породы неодинаковыми в отношении их сопротивляемости выветриванию, размыву, растворению; среди них можно различать породы более стойкие и более податливые.

Условия залегания осадочных толщ (горизонтальные, наклонные, вертикальные, складчатые) и разнообразные их комбинации с магматическими массами создают столь же большое разнообразие вторичных форм рельефа, возникающих из первичных тектонических под воздействием разрушительных внешних факторов.

Инструменты и снаряжение. При исследовании рельефа местности необходимо иметь следующие инструменты: школьный нивелир, барометр-анероид, эклиметр, буссоль на штативе, рулетку, горный компас, горный молоток, саперную лопату и фотоаппарат. Помимо фотографирования, иногда бывают очень полезны эскизные зарисовки карандашом, которые представляют даже некоторые преимущества перед фотографией, так как концентрируют внимание на самом существенном, отбрасывая все второстепенное, все мелкие детали.

Для целей морфологического анализа на район полевой практики и прилежащую территорию составляется гипсометрическая схема, как правило, самим учителем. Затем проводится работа на бланковых картах, где нанесены абсолютные (или относительные) высоты современной поверхности. Выделение мелких форм (холмов, гряд, ложбин, долин и др.) осуществляется непосредственно на основании анализа гипсометрической карты. На карте проводятся границы отдельных форм, определяются их длина, ширина, высота (глубина) и крутизна склонов. Осуществление подробного морфологического анализа имеет большой генетический смысл, поскольку образование различных по размерам форм рельефа определено взаимодействием эндогенных и экзогенных факторов.

Начинается полевая практика с обзорной лекции, на которой дается краткая характеристика природы района и его геолого-геоморфологическое строение. Такую лекцию целесообразно разбить на две части: первую – наиболее общую, изложить в классе, вторую, применимую к конкретной территории – непосредственно в поле. Школьники знакомятся с основными видами планируемых полевых работ, требованиями по их выполнению и планом отчета. Полевые исследования обычно состоят из трех органически связанных видов работ: геоморфологической экскурсии, самостоятельной работы учащихся на ключевых участках и камеральной обработки собранного материала.

Во время рекогносцировочной геоморфологической экскурсии руководитель практики знакомит школьников с конкретными объектами, о которых он рассказывал в теоретической части: с различными формами и типами рельефа, основными приемами работы и методами полевых исследований. Также учитель сам показывает приемы полевых работ. Во время экскурсии учащиеся обучаются ведению геоморфологических записей в полевом дневнике. Записи должны содержать следующие сведения: дату, место исследования (или номер маршрута), номер точки описания (этим же номером отмечается точка на карте фактического материала), название геоморфологического объекта (холм, гряда и т. д.), его местоположение по отношению к постоянным ориентирам,

размеры (длину, ширину, глубину и т. д.), характерные морфологические особенности, геологическое строение.

При описании геоморфологических объектов в полевом дневнике отмечаются в первую очередь данные, которые объективно фиксируются наблюдателем в поле. Все соображения, связанные с возможной их интерпретацией, заносятся в дневник после изложения фактических данных. Текстовые описания сопровождаются зарисовками, иллюстрируются разрезами, профилями и схематическими картами.

Детальное описание точек осуществляется на характерных участках, где наблюдаются четкие геоморфологические закономерности. Между точками можно ограничиться маршрутными наблюдениями, которые также заносятся в дневник. Одновременно с дневником ведется рабочая карта-схема, в которой отмечаются маршрут и местоположение точек наблюдений (с номером), а также геоморфологических объектов (в масштабе или условными знаками). Основная задача геоморфологической экскурсии – отработка учащимися простейших методов геоморфологических исследований различных форм и типов рельефа.

После ознакомления с методами полевых исследований школьники (обычной бригадой) проводят самостоятельное изучение одного из типичных участков. Основная задача второго этапа – овладение навыками самостоятельных геоморфологических исследований. Получив участок, бригада проводит его рекогносцировку, в процессе которой выясняют и геологические объекты, подлежащие детальному и обзорному изучению, и составляет план изучения.

Работа на участках включает: сбор морфологических данных по отдельным формам рельефа (геометрическая форма, очертания, ширина, высота, крутизна склонов, характер подошвы, бровки, поверхности и др.), изучение их взаимных соотношений (разбросаны одиночно, располагаются беспорядочно, образуют линейно вытянутые комплексы и т. д.), изучение внутреннего строения основных форм рельефа – литологического состава пород, их тектурных особенностей, условий залегания и т. д. С этой целью проводится расчистка обнажений и закладка шурфов.

Собранный полевой материал должен обрабатываться, при этом вычерчиваются геолого-геоморфологические разрезы, профили, фрагменты геоморфологической карты. Основной задачей текущих камеральных работ является систематизация материала, выяснение генезиса отдельных форм и уточнение программы работы на следующий этап.

В процессе исследований определяют положение склонов в пространстве, их очертания и размеры. Положение в пространстве определяется относительно постоянных объектов, высотой и экспозицией. Очертания анализируют-

ся в профиле (прямые, выпуклые, ступенчатые и т. д.) и в плане (прямые, извилистые и т. д.).

Размеры склонов определяются путем измерения их длины, ширины, относительной высоты и угла наклона. При описании склонов обращается внимание на соотношения их друг с другом. Склоны сочленяются (или разграничиваются) линиями: водораздельной, бровки, подошвы, тальвега. Описание элементарных поверхностей завершается выделением и характеристикой простых положительных и отрицательных форм рельефа. К ним относятся: бугры, холмы, гривы, гряды, увалы, западины, блюдца, котловины, депрессии, долины, ложбины, седловины.

Общий облик может быть показан через сравнение с общеизвестными предметами и геометрическими телами. Так, холмы бывают куполовидные, конические, впадины – блюдцеобразные, воронкообразные, корытообразные и др., очертания – округлые, овальные, дугообразные, лопастные и другие. Описание форм рельефа сопровождается вычерчиванием профилей по характерным направлениям, обращается внимание на общий вид формы (симметричная, асимметричная), характер вершины (дна), бровки, подошвы и других элементов.

Структурно-геоморфологический анализ. Под структурно-геоморфологическим анализом понимается изучение исторически сложившихся соотношений между рельефом и геологическими структурами. На формирование рельефа оказывают влияние как собственно тектонические движения (первично-тектонический рельеф), так и условия залегания, литологический состав, трещиноватость и другие свойства пород, слагающих территорию. Одним из необходимых условий морфоструктурных исследований является учет соразмерности сопоставляемых форм рельефа и геологических образований.

В условиях, когда геологический разрез состоит из чередующихся пород различной прочности, очертания склонов, бровок, тальвегов и других элементов рельефа нередко находятся в прямой зависимости от структурных особенностей территории. Выяснению характера соотношений между формами поверхности и структурами помогает анализ геолого-геоморфологических профилей. Построение профиля осуществляется следующим образом. На изучаемой территории прокладывается линия профиля так, чтобы она пересекала тектонические структуры и формы рельефа по характерному направлению (через наиболее приподнятые участки, вкрест простирания слоев и т. д.). По линии маршрута отрабатывается гипсометрический профиль, с тем, чтобы неровности поверхности получились достаточно выраженными, но без сильных искажений. На геологический разрез наносятся структурные поверхности, и обозначается литологический состав пород с характеристикой степени их

устойчивости процессам выветривания и денудации. Сопреженный анализ гипсометрического и геологического профиля позволяет наглядно представить имеющиеся на изучаемой территории типы морфоструктур.

При проведении структурно-геоморфологического анализа обязательно оцениваются новейшие тектонические движения и характер их отражения в современной поверхности. Эти сведения, как правило, берутся из литературных источников.

Изучение морфоскульптуры начинается обычно с форм и типов рельефа, которые используются на рассматриваемой территории наиболее широким распространением. В областях, подвергавшихся в плейстоцене оледенениям, это древнеледниковая морфоскульптура, во внеледниковой зоне – флювиальная морфоскульптура и т. д.

В пределах Карелии преимущественно представлены формы древнеледникового рельефа. Геологическая деятельность ледников была мощным фактором, оказавшим большое влияние на формирование как мелких, средних, так и крупных форм рельефа в древнеледниковой области. Однако крупные формы рельефа на полевой практике являются, как правило, объектом экскурсионных наблюдений. Объектами непосредственных исследований на полевой практике являются обычно мелкие формы ледникового рельефа: экзарационные (бараны лбы, курчавые скалы, ложбины и рытвины выпавания и т. д.), которые распространены в районах развития устойчивых к денудации горных пород, и аккумулятивные (озы, камы, зандры и т. д.).

В зависимости от генезиса слагающих рельеф пород выделяются моренные, флювиогляциальные и озерно-ледниковые типы рельефа, а по морфологическим признакам – плоские и плоско-волнистые, мелкохолмистые, холмистые и крупнохолмистые равнины. Условно к плоско-волнистым равнинам относят участки с амплитудой высот до 4–5 м, мелкохолмистым – до 10 м, холмистым – 10–20 м, крупнохолмистым – 20–40 м.

Полевые исследования при изучении аккумулятивного рельефа заключаются в описании морфологических особенностей отдельных форм рельефа, анализе их взаимных соотношений, изучении состава слагающих пород для изучения внутреннего строения форм рельефа используются естественные и искусственные обнажения, шурфы, скважины. На основании анализа гипсометрических карт и непосредственных наблюдений в поле выясняются внешний вид отдельных форм рельефа, их простирание, длина, ширина, высота и взаимные соотношения. Внешние морфологические особенности ледниковых форм рельефа являются нередко важными диагностическими признаками для определения их генезиса. Так, господство на местности линейно-вытянутых ком-

плексов, образующих выпуклые в дистальном направлении дуги, характерно для краевых образований, а перпендикулярных к ним радиальных комплексов – для зафронтальных образований, заложившихся в теле активного ледника.

Изучение древнеледникового рельефа целесообразно проводить методом профилирования. Маршрут учебного геоморфологического профиля прокладывается через различные по размерам положительные (холмы, гряды) и отрицательные (ложбины, межхолмистые понижения и др.) формы рельефа. В камеральных условиях, до выхода на экскурсию вычерчивается гипсометрическая основа профиля, на которую по данным буровых скважин наносятся разрезы положительных и отрицательных форм рельефа. На экскурсии по маршруту профиля изучаются поверхностные отложения, искусственные (карьеры, закопушки, колодцы и др.) и естественные обнажения, проводятся при необходимости горно-геологические работы (копка шурфов). На основании всех собранных материалов делается вывод о внутреннем строении форм рельефа и определяется генетический тип рельефа.

Господствующими формами рельефа на моренных равнинах являются моренные холмы, гряды и котловины различных размеров. Сложены они мореной, представленной обычно валунными суглинками и супесями. Анализ текстур и вещественного состава морен позволяет определить их тип (основная, абляционная, локальная и др.) и тем самым уточнить условия формирования моренного рельефа. Флювиогляциальный рельеф, образование которого связано с деятельностью талых вод ледника, подразделяется на озово-камовый и зандровый.

Озерно-ледниковые равнины формируются в результате абразионно-аккумулятивной деятельности приледниковых водоемов. Абразионные равнины имеют плоско-волнистую поверхность, сложенную моренными, флювиогляциальными и другими породами с маломощным и фрагментарным покровом озерных отложений. Одним из важных диагностических признаков абразионных равнин являются обширные валунные поля, вытянутые вдоль древних береговых линий, представляющие собой продукт абразионной деятельности мелководных приледниковых водоемов.

Аккумулятивные озерно-ледниковые равнины сложены с поверхности осадками озерного типа: однородными мелко- и средне-зернистыми горизонтально-слоистыми песками, супесями, суглинками и глинами. Одним из своеобразных типов осадков озерно-ледниковых равнин являются ленточные глины, которые можно использовать для определения времени существования приледниковых водоемов. Изучение озерно-ледниковых равнин лучше всего проводить по маршрутам, перпендикулярным

древней береговой зоне, поскольку в этом направлении обычно наблюдается смена фаций озерно-ледниковых отложений мелководных на более глубоководные и закономерный переход абразионных равнин в аккумулятивные.

Формы рельефа, возникшие непосредственно у края ледника, принято называть фронтальными, образования, возникшие на занятой ледником территории, – зафронтальными (внутриледниковыми), а за его пределами – предфронтальными (приледниковыми). Зафронтальные образования занимают внутренние участки ледникового комплекса и представлены холмами, грядами и котловинами, сложенными основной мореной. Фронтальные образования отмечают положение края ледника и могут быть представлены как водно-ледниковыми, так и моренными типами рельефа. Среди последних особого внимания заслуживают конечные морены, возникшие в результате фронтальной аккумуляции активного ледника и сложенные мореной. Конечные морены подразделяются на напорные и насыпные. Предфронтальные образования представлены в основном водно-ледниковыми типами рельефа: зандрами, озерно-ледниковыми равнинами и др.

Изучение флювиальной морфоскульптуры целесообразнее начинать с речных долин, в строении которых запечатлены наиболее существенные черты развития рельефа территории. Изучение долин проводится путем построения поперечного и продольного профилей. Учебный поперечный профиль закладывается на участке, где наиболее ярко выражены все элементы долины: русло, пойма, надпойменные террасы, коренные берега и т. д. Для каждого поперечного профиля отмечается его местоположение, приводится характеристика важнейших морфологических особенностей долины: ширины, глубины, крутизны склонов. При изучении русла по литературным источникам и полевым наблюдениям выясняют ширину и глубину реки на плесах и перекатах, очертания русла в плане, степень меандрирования, размеры меандр, наличие в русле островов и рукавов, характер донных отложений, особенности строения руслового аллювия, обращается внимание на выходы коренных пород, уточняются урез реки в межень и колебания уровня во время паводка и половодий.

Изучение поймы включает анализ ее микро-рельефа и геологического строения. Обращается внимание на абсолютную и относительную (над урезом воды) высоты поймы (около русла, в средней, тыловой частях). Весьма характерные элементы поверхности пойм – староречья, при изучении которых обращается внимание на очертания, размеры, взаимные соотношения, связь с руслом, характер донных отложений. На основании этих данных делаются выводы о бывших положениях русла.

Характерными элементами надпойменных террас являются ее поверхность, верхний и нижний уступы. Поверхность террасы – это уровень флювиального происхождения, созданный в прошлом эрозионно-аккумулятивной деятельностью реки. При исследовании террас определяются их ширина, абсолютная и относительная высота, простирание вдоль долины. Относительная высота определяется над уровнем реки и поверхностью поймы (или ниже лежащей надпойменной террасой). При этом определяются мощность аллювия, положение подошвы аллювия по отношению к подошве террасы и урезу воды в реке, фациальный состав, его текстурные особенности, включения органических остатков и т. д.

У эрозионных террас аллювий незначительной мощности, представлен русловой фацией грубого состава, коренное ложе лежит выше уреза воды в реке. На эрозионно-аккумулятивных террасах развиты русловые, пойменные и старичные фации аллювия, поверхность цоколя располагается на уровне, близком к урезу. Аккумулятивные террасы имеют значительную мощность аллювия, подошва которого лежит ниже уреза воды в реке, в строении аллювия принимают участие все фации, однако господствующее положение занимают русловые.

При изучении коренного берега выясняются его форма в поперечном профиле и плане, относительная высота, наличие перегибов, уступов, угол наклона, геологическое строение. При этом обращается внимание на литологический состав пород, условия их залегания, характер контактов и соотношения между условиями залегания пород, их составом и характером склона и т. д. Склоны формируются под воздействием флювиальных и склоновых процессов. Участки склонов, расположенные выше надпойменных террас, в настоящее время развиваются под воздействием гравитационных процессов и плоскостного смыва. Они обычно пологие, длинные, со сглаженной бровкой и аккумулятивными шлейфами.

В приречной зоне на развитие склонов оказывают влияние и флювиальные процессы (подмыв берегов руслом), и поэтому склоны обычно крутые, нередко обрывистые.

Изучение контактов между склоновыми и аллювиальными отложениями позволяет уточнить роль флювиальных и склоновых процессов в образовании долины. Если аллювий залегает на склоновых отложениях, то это свидетельствует о том, что склон формировался раньше террасы; замещение склоновых отложений аллювиальными указывает на синхронность их образования; если же склоновые отложения перекрывают террасу, то можно сделать вывод об интенсивном развитии склонов после формирования террасы.

По материалам наблюдений бригад на ключевых участках строится продольный геолого-геоморфологический профиль долины.

Вертикальный и горизонтальный масштабы для профиля подбираются с таким расчетом, чтобы не наблюдалось сильных искажений, но можно было отразить мощность и состав аллювия террас. Построение осуществляется следующим образом. Первоначально вычерчивается продольный профиль уреза реки, затем на профиль наносятся сведения о высоте и геологическом строении поймы и надпойменных террас. Одновозрастные фрагменты террас соединяются линией профиля, ниже ложа аллювия показывается строение коренных пород, выше поверхности террас – гипсометрический профиль междуречья и необходимые данные по его геологическому строению.

На профиле плакоры относятся нередко к наиболее древним элементам рельефа и представляют собой остатки первичного плато, расчлененного поверхностями врезания. По своему происхождению они могут быть остатками аккумулятивной (морской, озерно-аллювиальной, моренной) или денудационной равнины, возникшей в предыдущие этапы развития рельефа. По морфологическим признакам вершинная поверхность представлена плоскими, плоско-волнистыми или слабохолмистыми участками.

Происхождение и время формирования аккумулятивных поверхностей определяются по генезису и возрасту слагающих их осадков. На денудационных равнинах обращается внимание на взаимосвязь вершинной поверхности со структурно-литологическими элементами коренных пород.

Обработка материалов и составление отчета. Анализ и обобщение материалов, собранных во время полевых исследований и взятых из литературных источников, называется камеральной обработкой. В задачу камеральных работ входят ознакомление школьников с приемами обработки полевых наблюдений, подготовки картографических документов, простейшими методами научных обобщений, использования геоморфологических материалов для решения хозяйственных и учебно-методических задач. Необходимо отметить, что резкой грани между полевым и камеральным этапами, как правило, нет. Ежедневные полевые исследования должны сочетаться с первичной обработкой собранного материала: подрабатываются геологические разрезы, профили, пересекающие различные формы рельефа, готовятся рабочие макеты геоморфологических карт, выдвигаются и проверяются различные гипотезы о происхождении соответствующих форм и типов рельефа. При необходимости вновь посещаются те или иные геоморфологические объекты для дополнительного изучения. Основной задачей заключительного этапа камеральных работ является составление сводного отчета и создание общей концепции развития рельефа изучаемого участка.

Построение геоморфологического профиля. Геоморфологический профиль строится обычно по направлениям, отражающим характерные особенности рельефа территории. Для профиля подбираются вертикальный и горизонтальный масштабы с тем расчетом, чтобы достаточно наглядно отражались как морфологические особенности, так и геологическое строение территории. Построение геоморфологического профиля начинается с вычерчивания гипсометрической основы по карте. Гипсометрический профиль дополняется характерными морфологическими элементами, выявленными при полевых исследованиях. Некоторые небольшие, но важные элементы рельефа могут быть показаны условными знаками (прирусловые валы, небольшие карстовые воронки и т. д.). Под линией профиля в масштабе наносятся условными знаками покровные отложения и залегающие ниже породы. Для этого используются полевые описания естественных и искусственных обнажений.

Составление карт. По содержанию различаются общие и специальные геоморфологические карты. На общих геоморфологических картах отражаются морфология, генезис, возраст рельефа. На специальных картах наносятся только некоторые показатели, необходимые для решения тех или иных геоморфологических задач. Примером их являются геоморфологические карты, используемые при морфоструктурном анализе.

В зависимости от выбора объектов картирования и способов изображения на картах морфологии, генезиса и возраста рельефа выделяются три направления в геоморфологическом картировании: морфогенетическое, генетическое и возрастное. На морфогенетических картах основное средство изображения используется для показа морфогенезиса картируемых категорий рельефа (форм, типов рельефа), на генетических – генезиса, возрастных – возраста поверхности. Для учебных целей наиболее удобными являются морфогенетические карты, поскольку они дают синтезированное представление о рельефе. Под морфогенетическими типами рельефа понимаются участки земной поверхности, характеризующиеся определенными чертами рельефа и отражающие особенности его генезиса. В качестве основы можно выделить следующие генетические категории рельефа: тектонико-денудационный, вулканический, денудационный, карстово-суффозионный, водно-эрозионный, водно-аккумулятивный, ледниковый, озерный, морской, эоловый, биогенный.

Для обозначения морфологии и генезиса рельефа пользуются обычно методом цветного фона. При этом каждая морфогенетическая категория рельефа показывается определенным цветом. Возраст рельефа показывается индексами, а система штриховок используется для показа литологического состава рыхлых

отложений, изображения наложенных форм, структур, литологического состава коренных пород. Возможен и другой вариант показа морфологии, генезиса и возраста рельефа: генезис рельефа – определенной цветовой окраской (цветовой фон), морфологические особенности – штриховкой, возраст – индексами.

Легенда геоморфологической карты разрабатывается еще до выезда на полевую практику. На практике учащиеся знакомятся с принципами и методами построения геоморфологической карты и составляют «свою» рабочую легенду, которая сравнивается затем с эталонной. Картографируемые формы и типы рельефа наносятся на карту знаками в соответствии с принятым масштабом (см. справочный материал). Крупные формы, соответствующие масштабу карты, отмечаются сплошной замкнутой линией по их контуру, а характерные мелкие формы – внемасштабными знаками.

Для составления геоморфологической карты используют топографическую основу, делая с нее кальку основных гипсометрических уровней. Однако в полевых условиях возможно построение карты на основе глазомерной азимутальной или площадной съемки.

Отчет о геоморфологических исследованиях составляется по следующему плану:

1) географическое положение места практики, его размеры, время проведения, состав участников, распределение обязанностей;

2) цели и задачи полевой практики;

3) краткая физико-географическая характеристика территории (составляется по литературным данным с учетом полевых наблюдений); в этом разделе отмечаются важнейшие особенности природы, оказывающие влияние на развитие рельефа;

4) характеристика морфоструктуры; в этом разделе излагаются сведения о геологическом строении территории, необходимые для понимания особенностей формирования рельефа (стратиграфия, условия залегания, литологический состав пород, их трещиноватость и т. д.); наиболее детально приводятся данные по строению четвертичных отложений; рассматривается рельефообразующая роль структур, новейших тектонических движений, и выделяются типы морфоструктур;

5) характеристика морфоскульптуры; в разделе рассматриваются основные типы экзогенного рельефа, развитые на изучаемой территории (морфология, строение, генезис), отмечаются закономерности их распространения и взаимного соотношения;

6) в разделе «История развития» характеризуются основные этапы развития рельефа, они базируются на изучении разновозрастных элементов рельефа;

7) в разделе «Современные рельефообразующие процессы» рассматриваются современные тектонические движения (по карте совре-

менных движений), склоновые, оползневые, эоловые процессы, проявления плоскостной, глубинной и боковой эрозии и т. д., определяются меры борьбы с возможными их отрицательными последствиями;

8) влияние рельефа на хозяйственную деятельность; здесь рассматривается влияние рельефа на размещение населенных пунктов, дорог, сельскохозяйственных угодий, промышленных предприятий, рекреаций и т. д.; антропогенные формы рельефа; рельеф и проблемы охраны природы;

Исследования почвенного покрова в естественных природных комплексах.

Полевая практика по почвоведению сводится к технике полевого исследования почв, которая включает изучение почвенного покрова района исследования, изучение морфологических признаков почв, анализ почвообразующих факторов, классификацию почв. Почвоведение – наука о почве, как о самостоятельном естественноисторическом теле. Она изучает свойства почв, законы их образования, эволюции, жизни и распространения по земной поверхности. Основными понятиями почвоведения являются понятия географо-генетического цикла, отражающие основные законы генезиса почв и их связь с факторами почвообразования.

Почва обладает структурой – генетическими горизонтами, слагающими почвенный профиль. Структура отражает специфику происходящих в почвенном профиле процессов и результат этих процессов – собственно почву. Почва обладает рядом особенностей и свойств: механическим составом, мощностью гумусового горизонта, наличием дерна, влажностью и т. п. Каждая из этих особенностей определяется специфическим сочетанием факторов, которые и придают почве эти свойства, и процессами, приводящими к возникновению этих свойств. Наиболее наглядно взаимодействие факторов и процессов отражает табл. 1.

Горные породы как фактор почвообразования и как минеральная основа почв, подвергаясь первоначальному почвообразующему процессу выветривания, формируют коры выветривания (материнские породы). Они же сообщают почвам механический, гранулометрический и минеральный состав. От него в свою очередь зависят влагоемкость, воздухо- и водопроницаемость, плотность и другие свойства почв.

Рельеф, перераспределяя вещество и энергию: горные породы, растительный опад, атмосферные осадки, способствует формированию типов водного режима почв (от автоморфного до гидроморфного). Автоморфные почвы (элювиальные) – почвы водораздельных поверхностей (плакоров), гребней холмов, террас, в силу своего положения в рельефе имеют полный почвенный профиль. Все процессы почвообразования в этих формах

Таблица 1
ПОЧВООБРАЗУЮЩИЕ ФАКТОРЫ И ПОЧВООБРАЗУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ

	Выветривание	Гравитационное перемещение	Минерализация	Синтез	Внутрипочвенная миграция
Горные (материнские) породы	Формирование коры выветривания из материнской породы				Генетические горизонты, почвенный профиль
Рельеф		Формирование элювиального, трансэлювиального, аккумулятивного типов переноса вещества и миграция химических элементов			
Климат			Типы почвообразования: дерновый, подзолистый, болотный, черноземный, буроземный, сероземный		
Растительность				Накопление органической массы, формирование органо-минеральных комплексов	
Время	ФОРМИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ				

рельефа будут соответствовать зональным. Почвы, сформировавшиеся на склонах, – трансэлювиальные. Генетические горизонты их залегают параллельно поверхности склона, почвенный профиль редуцирован, он лимитирован склоновой поверхностью. Верхние почвенные горизонты (гумусовые) под действием силы тяжести транспортируются к подножию склона, увеличивая долю минеральной части почвенного профиля на склоновых поверхностях. Склоновые почвы обогащены минеральными веществами в большей степени, чем органическими. Вся органика оказалась смытой в нижние части склонов, в лучшие условия увлажнения. У подножия склонов формируются аккумулятивные почвы. Характер профиля будет зависеть от элементов рельефа у подножия склона. Избыток влаги создает специфические условия для многих почвообразовательных процессов (оглеение, заболачивание) (рис. 1). В разных природных зонах сочетание факторов почвообразования задают условия для специфического протекания процессов внутри почв, что и приводит к пестроте почвенного покрова Земли.

К факторам почвообразования относятся рельеф, почвообразующие породы, живые и отмершие организмы, климат и др. При этом климат и почвообразующие породы могут быть относительно однородными для больших географических пространств. Другие же факторы, например, микрорельеф, растительность существенно меняются даже на небольших пространствах. От этих переменных зависит то, что почвы близлежащих пространств могут различаться так, как если бы они находились в разных природных зонах. И таких парадоксов в природе очень много.

Почвообразование – это комплекс процессов, преобразующих физически и химически

исходную материнскую почвообразующую породу и синтезирующих новые вещества на органической и минеральной основе.

Зональным типом почв Карелии являются подзолистые почвы. По климатическим условиям эта зона принадлежит к умеренному поясу. Достаточное, но не избыточное увлажнение, умеренное тепло летом и холодные зимы способствуют произрастанию европейских таежных хвойных лесов. По характеру напочвенного покрова различают зеленомошники с участием кустарничков и трав. На автоморфных участках встречаются сосняки лишайниковые. Процесс накопления растительных остатков преобладает над процессом минерализации. Вследствие этого формируется характерная лесная подстилка. Под ней формируется черный гумусовый горизонт. Промывной режим способствует вымыванию органического почвенного горизонта вглубь почвенного профиля, оставляя белесоватую минеральную часть. Так формируется типичный подзолистый генетический горизонт, по цвету напоминающий золу. Такие почвы сильно кислые со значительным содержанием алюминия и кремния. Ниже подзолистого горизонта залегает охристый по окраске горизонт с большим содержанием оксида железа. Это иллювиальный горизонт (горизонт вмывания). Ниже залегает материнская порода.

Равнинная Карелия почти полностью находится в областях ледниковых форм рельефа и соответствующих им отложений, за исключением выходов кристаллического фундамента на дневную поверхность (граниты и др.). Подзолистые почвы распространены на легких почвообразующих породах. К ним относятся ледниковые, озерно-ледниковые, флювиогляциальные, иногда моренные отложения. Они могут быть представлены песками, супесями,

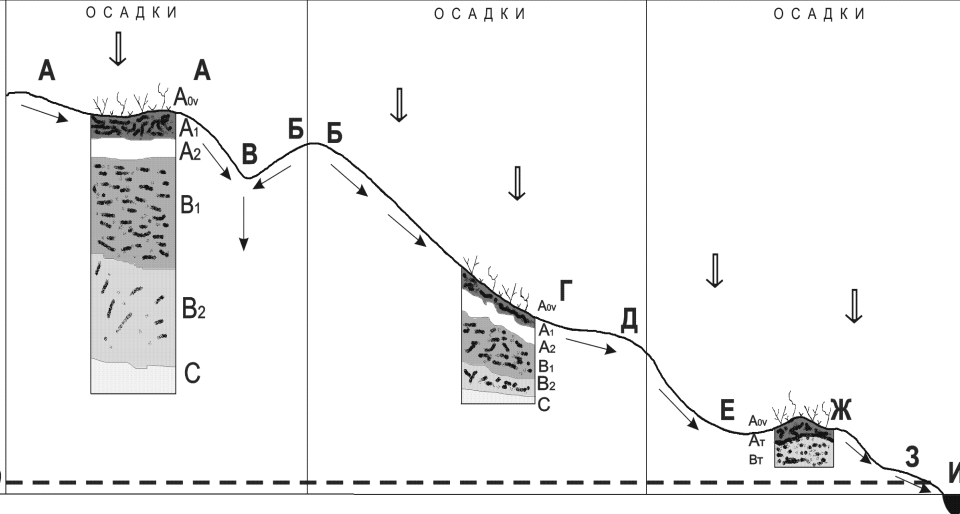
ТИП МЕСТНОСТИ	ПЛАКОР, ВОДОРАЗДЕЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ, ВЕРШИНА	СКЛОН	ДОЛИНА, ПОЙМА, ПОДНОЖИЕ СКЛОНА
МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ А приподнятые Б верхние крутые В бессточные, полу - бессточные понижения Г проточные понижения, ложбины, лога Д нижние части склона, сухие ложбины Е террасы, притеррасные понижения с дополнительным увлажнением Ж слабосточные понижения З с проточным увлажнением И подземные <i>уровень грунтовых вод</i>			
РЕЖИМ МИГРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ			
А элювиальный В аккумулятивно-элю-виальный	Б транс-элювиальный Г аккумулятивно-элю-виальный со свободным стоком Д элювиально-аккумулятивный с процес-сами вымывания	Е трансупераквальный Ж аккумулятивно-аквальный З пойменный И субаквальный	
ХАРАКТЕР ОТЛОЖЕНИЙ И СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ			
Физическое выветривание, плоскостной смыв, фрагментарная аккумуляция элювия	Склоновые гравитационные процессы, эрозия делювия (пролювий, коллювий), солифлюкция	Преимущественная аккумуляция, возможна береговая абразия, формирование береговых форм рельефа, накопление аллювия, озерных отложений и др.	

Рис. 1. СОПРЯЖЕННЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ РЯД ПОЧВ

средними и легкими глинами и суглинками. Зональные типы почв выступают в качестве основных, фоновых почв.

Такова схема формирования подзолов. Если же в эту «формулу» ввести «переменную», т. е. изменить положение в рельефе или характер растительности, то формирование почв будет протекать по качественно иному пути. Изменения рельефа и растительности вносят изменения и в почвы. У подножия склона происходит интенсивная аккумуляция растительного опада и атмосферной влаги из-за активного плоскостного смыва. Уровень залегания грунтовых вод расположен близко к земной поверхности, что создает условия постоянного переувлажнения и ведет к заболачиванию местности. В таких условиях произрастает гидроморфная растительность – сфагновые и зеленые мхи. Слабая минерализация ведет к накоплению отмерших мхов – к торфонакоплению. Так в верхней части почвенного профиля под лесной подстилкой образуется торфянистый горизонт. Под ним залегают подзолистый, иллювиальный, затапливаемые верховодкой генетические горизонты. Весь почвенный профиль редуцирован, лимитирован рельефом и увлажнением.

Почва – результат взаимодействия факторов, вовлеченных в процесс почвообразования. Сочетания этих факторов дают генетические типы почв. За основу классификации почв основоположник отечественного почвоведения В. В. Докучаев принял генетические типы почв, образованные определенным сочетанием факторов почвообразования, обладающих характерными свойствами и закономерностями распространения (табл. 2).

В классификации почв, действующих в России, в один генетический тип объединяются почвы с единым строением почвенного профиля, с качественно однотипным процессом почвообразования, который развивается в однообразных гидротермических условиях, на материнских породах сходного состава и под однотипной растительностью.

Полевая практика учащихся также предполагает три основных этапа: подготовительный, собственно исследовательский и камеральный. Каждый из них важен, требует определенных усилий и ведет к определенным результатам. Перед полевой практикой руководитель сообщает необходимые сведения о природных особенностях района проведения практики и

Таблица 2
КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЧВ В. В. ДОКУЧАЕВА (1899)

Типы почв	Природные зоны
Тундровые почвы	Бореальная зона
Подзолистые светло-серые почвы	Таежная зона
Серые и темно-серые почвы	Лесостепная зона
Черноземные почвы	Степная зона
Каштановые и бурые почвы	Пустынно-степная зона
Аэральные почвы	Аэральная или зона пустынь
Латеритные или красноземные почвы	Субтропическая и тропическая лесная зоны

повторяет теоретический материал о морфологических признаках почв. В этот же этап производится подготовка следующих инструментов и оборудования:

1. Лопата (остро заточенная);
2. Почвенный нож;
3. Рулетка;
4. Сантиметровая лента с булавкой;
5. Планшет с листом ватмана, простые и цветные карандаши различной твердости, ластик, канцелярские кнопки и скрепки, миллиметровая бумага;
6. Компас;
7. Школьный нивелир, рейка, отвес, визирная линейка;
8. Пакеты для сбора образцов. Скотч или липкая лента;
9. Полевой дневник;
10. Бланки для описания почв;
11. Бумага для отчета;
12. Рюкзак;
13. Полевая сумка;
14. Фотоаппарат.

Перед работой инструменты приводятся в порядок: проверяются черенки лопат и затачиваются их клинки, а также затачиваются почвенные ножи и карандаши, проверяется рулетка на целостность и отсутствие скруток, выверяется компас (при необходимости подмагничивают подковообразным магнитом стрелку), запаковываются почвенные бланки для защиты от дождя.

Работа в поле начинается с рекогносцировочного маршрута. Во время маршрута-экскурсии проводится общий обзор территории исследования, выбираются ключевые участки, составляется план-схема глазомерной съемки, принимается решение о наиболее приемлемом для данной местности методе картографирования: профилирование, площадная съемка (маршрутная съемка), метод трансекта. Для наибольшей точности и объективности полевой съемки желательно иметь картографическую основу: крупномасштабную топографическую карту или «глазомерку». Конкретизируются вертикальный и горизонтальный масштабы, величины которых зависят от сложности рельефа и пестроты почвенного покрова.

Метод профилирования очень удобен и прост для применения. На ключевом участке выбираются две определенные точки, задается азимут и производится детальное изучение по-

верхностных форм рельефа, отдельных форм рельефа (нивелировка) и почв в пределах этих элементов рельефа. При маршрутной съемке описание элементов рельефа и почв не задается азимутальным направлением, а проводится «по ходу», т. е. определяется путем следования по тропинке, просеке. Метод трансекта заключается в том, что в пределах ключевого участка выбираются два параллельных направления через наиболее показательные участки и исследование проводится на «ключе», ограниченном двумя направлениями.

В результате этих трех видов исследований получают три различных вида съемок: сопряженный почвенно-геоморфологический профиль; при маршрутной съемке – площадное картографирование, почвенная карта; при методе трансекта – площадная почвенная карта и сводный почвенно-геоморфологический профиль. Результаты исследований с ключевого участка экстраполируются (переносятся) на любой участок карты.

Сущность методики полевого исследования заключается в одновременном изучении морфологических признаков почв и факторов почвообразования. По ним делают заключение о генетических особенностях почвы, определяют таксономические показатели классификации (дают название почвы).

Все наблюдения и результаты исследования заносятся в полевой дневник, который является документом для составления отчета. В него заносятся описание местности (природного комплекса), делаются зарисовки почвенного профиля. Он включает в себя сведения о рельефе, растительности, уровне грунтовых вод, характере горных пород и отложений, т. е. общие сведения об экологических особенностях территории исследования.

Перед описанием разреза в полевой дневник вносят его порядковый номер и индекс. Указывают дату исследования, географическое положение, место привязки к местности (к фиксированному географическому объекту). Отмечают положение на профиле рельефа или на карте.

Бланки полевого дневника обычно готовят заранее (рис. 2).

Исследование почв проводится по почвенным разрезам. Во время рекогносцировочного маршрута учащиеся овладевают техникой заложения почвенного разреза и приобретают

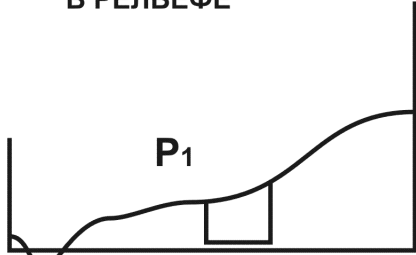
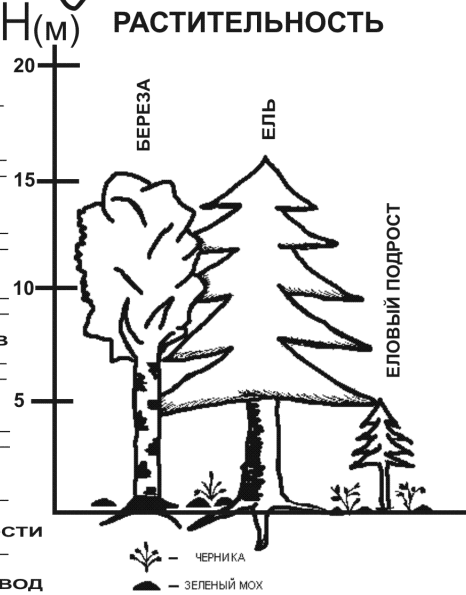
ИНДЕКС _____	ДАТА "____" _____ 20__ г.
МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ _____ _____	
ОБЩИЙ РЕЛЬЕФ _____	ПОЛОЖЕНИЕ РАЗРЕЗА В РЕЛЬЕФЕ
МИКРОРЕЛЬЕФ _____	
ОТЛОЖЕНИЯ _____	
РАСТИТЕЛЬНОСТЬ _____	
ВИДОВОЙ СОСТАВ ДРЕВОСТОЯ _____	
ВЫСОТА ДЕРЕВЬЕВ (СРЕДНЯЯ) _____	
ДИАМЕТР СТВОЛА (СРЕДНИЙ) _____	
ВИДОВОЙ СОСТАВ КУСТАРНИКОВ _____	
ВИДОВОЙ СОСТАВ КУСТАРНИКОВ _____	
ТРАВЯНОЙ ЯРУС _____	
МОХОВО-ЛИШАЙНИКОВЫЙ ПОКРОВ _____	
НАЗВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ _____	
ПРИЗНАКИ ЗАБОЛОЧЕННОСТИ _____	
ДРУГИЕ ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ _____	
УРОВЕНЬ ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫХ ВОД _____	
МАТЕРИНСКАЯ И ПОДСТИЛАЮЩАЯ ПОРОДА _____	
НАЗВАНИЕ ПОЧВЫ _____	

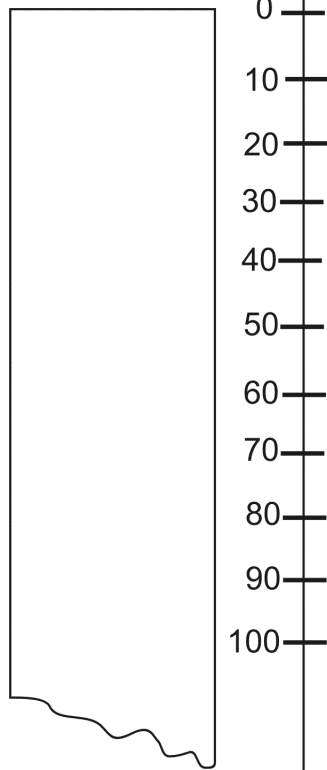
СХЕМА ПОЧВЕННОГО РАЗРЕЗА	ОПИСАНИЕ РАЗРЕЗА: ЦВЕТ, МЕХАНИЧЕСКИЙ СОСТАВ, СТРУКТУРА, ВЛАЖНОСТЬ, ПЛОТ- НОСТЬ, НОВООБРАЗОВАНИЯ, ВКЛЮЧЕНИЯ, ХАРАКТЕР ПЕРЕХОДА К ДРУГОМУ ГОРИЗОНТУ, ГРАНИЦА
	

Рис. 2. БЛАНК ПОЛЕВОГО ДНЕВНИКА

первые навыки описания почвенного профиля. В полевых условиях отрабатывается алгоритм использования классификационных признаков почв (даются названия почв). Названия определяют по морфологическим признакам, отражающим внутренние процессы.

Почвенный разрез (яму или прикопку) закладывают в наиболее характерном месте, вдали от тропинок, дорог, просек, мелиоративных канав (если нет специального задания). Он имеет площадь 0,5 на 0,5 м или 0,75 на 0,75 и закладывается на глубину от 0,7 до 2,5 м, чтобы вскрыть верхние горизонты неизменной материнской породы (рис. 3).

Разрез должен иметь отвесные стенки. Если он глубокий, на одной из сторон делают специальные ступеньки. Грунт изымается из разреза аккуратно, выкладывается на одну сторону шурфа. Передняя (лицевая) стенка разреза, предназначенная для описания, должна быть обращена к свету (к солнцу). Она зачищается почвенным ножом. Лицевую стенку нарушать нельзя: не затаптывать лесную подстилку и не обрушивать грунт. После описания и изъятия почвенных образцов грунт в обратной последовательности переносится в разрез. Нарушенная поверхность почвенного разреза выравнивается.

Дальнейшие действия школьников при описании почвенного шурфа сводятся к следующему.

1. Описание окружающей местности:

а) «привязка» к местности (положение точки закладываемого почвенного разреза по отношению к заметным ориентирам, «привязка» по высоте (абсолютной и относительной), по горизонталям на карте и по отметкам уреза воды);

б) мезорельеф (долина реки, озерная терраса); микрорельеф (первая надпойменная терраса, нижняя часть полого склона);

в) коренные породы, если есть; четвертичные отложения и материал, которым они представлены;

г) растительность: видовой состав древесных, подлеска, подроста, кустарникового яруса, кустарникового яруса, травяного и мохово-лишайникового покрова; в заключение дать название растительной ассоциации;

д) характер увлажнения и уровень грунтовых вод.

В названии растительной ассоциации название доминирующего сообщества ставится на последнее место.

2. Описание почвенного профиля и генетических горизонтов. Для определения морфологических признаков и описания почвенного профиля сантиметровую ленту прикрепляют к верхнему краю лицевой стороны (передней стенке) почвенного разреза булавкой или гвоздиком таким образом, чтобы в состав почвенного профиля вошел верхний напочвенный покров. Фиксируют мощность всей толщи почвенного профиля, глубину почвенного разреза (рис. 4).

По морфологическим признакам почвенным ножом отмечают границы генетических горизонтов. Каждый из горизонтов описывают в определенном порядке:

- 1) индекс горизонта;
- 2) мощность (см);
- 3) название генетического горизонта;
- 4) окраска, цвет, его интенсивность, однородность;
- 5) механический состав;
- 6) структура;
- 7) плотность;
- 8) влажность;
- 9) новообразования;
- 10) включения;
- 11) глубина и характер распространения корневой системы и почвенных камней;
- 12) переход к нижележащему горизонту.

В полевом дневнике зарисовывают почвенный профиль в масштабе 1 : 10 цветными карандашами, однако более точное представление о его морфологии создают мазки влажной почвы на рисунке. Рядом с зарисовкой профиля указывают индексы генетических горизонтов, дают описание растительных ассоциаций, высотное положение шурфа, рисуют схему почвенного разреза (его описание выполняется на бланке). По совокупности морфологических признаков и полевых анализов определяют тип, подтип, род, вид, разновидность почв. Полевое название почвы фиксируют на бланке описания почвенного разреза.

3. Отбор почвенных образцов. Для создания почвенного атласа необходимо приготовить почвенные «монолиты», которые в соответствующем масштабе отражают все генетические горизонты почвенного разреза. Первый способ, наиболее простой, заключается в том, что каждый генетический горизонт послойно наносится на клейкую поверхность, покрывается сверху прозрачной пленкой или скотчем, и рядом дается описание и название почвы.

Другой способ изъятия монолитов из почвенного профиля (рис. 5) заключается в следующем: почвенным ножом в лицевой части шурфа вырезается прямоугольная призма, зачищаются и выравниваются ее грани, а затем она помещается в прозрачный пакет или ящик соответствующего размера со стеклом. Во время камеральной обработки почвенный монолит просушивают и вновь запаковывают.

К монолиту прикрепляют этикетку с указанием названия почвы, места сбора образца, описанием экологических особенностей местности, названием генетического горизонта, датой отбора и фамилии учащихся.

Серия почвенных образцов с описанием будет представлять собой почвенный атлас на территорию исследования. Кроме того, школьники во время практики собирают и пополняют коллекцию почвенных монолитов и наряду с почвенными атласами становятся экспонатами кабинета географии и наглядным учебным пособием.

Камеральная обработка и составление отчета включает в себя составление картографических моделей, профилей, схем. Составляется почвенный атлас ключевого участка, готовится отчет полевой практике.

План отчета

1. Цели и задачи практики.
2. Характеристика объекта исследования.
3. Анализ процессов почвообразования.
4. Оценка факторов почвообразования территории исследования.
5. Описание методики полевых исследований.
6. Описание почвенных генетических горизонтов.
7. Классификация почв. Название.
8. Почвенный атлас. Почвенно-географический профиль, карта почвенного покрова.

Для построения почвенно-географического профиля используют топографическую основу или результаты нивелировки. По линии геоморфологического профиля, на различных элементах рельефа закладывают почвенные разрезы. Во время камеральной обработки на схему профиля наносят рисунки почвенных разрезов с индексами генетических горизонтов, условными знаками изображают горные породы, уровень залегания грунтовых вод, растительность. Анализ профиля должен навести учащихся на мысль о том, что почва и другие компоненты природного комплекса представляют неразрывное единство, почвенно-экологическую систему.

В заключение хотим отметить, что при проведении полевых практик необходим творческий подход, как со стороны руководителей, так и со стороны школьников. Начинается это творчество уже с определения района практики, проведения рекогносцировки и назначения заданий. Все эти элементы могут варьироваться в зависимости от особенностей рельефа того или иного района. На маршруте и во время работы на ключевых участках возможна импровизация, т. е. необходимо в каждом конкретном случае размышлять, как лучше провести исследования и зафиксировать данные наблюдений. Ведь можно просто записать результаты, а можно еще зарисовать, сфотографировать, сделать модель (например, почвенного монолита). Можно также смоделировать природные процессы в миниатюре: например, на маршруте встречается ручей или временный водоток, которые «превращаются» в миниатюрную речную долину. Если такую «долину» немного подработать с помощью лопаты, направляя в нужную сторону поток воды, можно получить «старицу», «долину прорыва», «конус выноса», «перехват реки» и т. д.

Умение видеть в природе интересные объекты и явления формируется в процессе работы

в поле. Учитель, руководитель практики, как правило, сначала сам показывает эти объекты, подсказывает, как лучше их наблюдать, а потом просит учеников самостоятельно проводить наблюдения и объяснять увиденное. Например, на песчаных пляжах замечаются круги и концентрические полосы, которые формируются вокруг злаковых растений, ставится вопрос: «Как появился этот микрорельеф?». Потом обсуждается процесс формирования следов волочения и их значение в палеогеографии. Также можно рассматривать следы дождевых лунок на песке, мелкие (до 1–2 см) песчаные столбики с гравием на вершинах, как результат сильного ливня, вымывшего мелкий песок из-под гравия и последующее резкое высыхание пляжа и т. д.

Кроме собственно геоморфологических и почвенных исследований на полевой практике большое внимание уделяется объектам живой природы и не только в связи с описанием природных комплексов, а также с точки зрения восприятия пейзажа.

ЛИТЕРАТУРА

- Бискэ Г. С. Четвертичные отложения и геоморфология Карелии. Петрозаводск, 1959. 307 с.
- Виленский Д. Г. География почв. М., 1961. 343 с.
- Волбуев В. Р. Об основах генетической классификации почв // Почвоведение. № 12. М., 1964. 14 с.
- Гардинер В., Дакомб Р. Полевая геоморфология: Пер с англ. М., 1990. 239 с.
- Герасимова М. И., Алябина И. О., Таргульян В. О. Методические подходы к картографической оценке климата как фактора почвообразования // Вестник МГУ. Серия 17. Почвоведение. № 4. М., 2000. С. 9–14.
- Добровольский В. В. География почв с основами почвоведения. М., 1999. 384 с.
- Докучаев В. В. К учению о зонах природы. СПб., 1899. 28 с.
- Ивлев А. М. Сто вопросов – сто ответов. Все о почвах. Владивосток, 1995. 49 с.
- Игнатенко И. В., Сушков С. Ф., Градин Б. Е., Жиров А. И. Полевая практика по географии почв. СПб., 1994. 73 с.
- Морозова Р. М. Лесные почвы Карелии. Л., 1991. 184 с.
- Неспокойный ландшафт: Пер. с англ. / Под ред. Д. Брандена и Дж. Дорнкемпа / Перевод Арманд Н. Н.; Под ред. и с предисл. Д. А. Тимофеева. М., 1981. 188 с.
- Почвы Карелии. Петрозаводск, 1981. 192 с.
- Почвы СССР. М., 1979. 380 с.
- Соколов И. А. Основные почвенные географо-генетические понятия и термины // Почвоведение. № 12. 1976. С. 3–15.
- Справочник путешественника и краеведа. Т. 2. / Под ред. С. В. Обручева. М., 1950. 684 с.
- Толковый словарь по почвоведению. М., 1975. 286 с.



Рис. 3. ПОЧВЕННЫЙ ШУРФ



Рис. 4. ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ПОЧВЕННОГО ПРОФИЛЯ



Рис. 5. ЛЕСНАЯ ПОДСТИЛКА ОТСЛАИВАЕТСЯ



Рис. 7. ДРУМЛИН (Лоймольское друмлиновое поле. Пряжинский район)

ФОРМЫ РЕЛЬЕФА КАРЕЛИИ

Особенности формирования гляциального и флювиогляциального рельефа наглядно представлены на рис. 6. Объяснения, как возникали эти наиболее характерные формы рельефа Карелии, даны в небольшом словаре:

Бараны лбы – скалистые холмы округлой куполовидной формы с гладко отполированной, часто покрытой ледниковой штриховкой (шрамами) от действия двигавшегося ледника поверхностью. Встречаются в Карелии в местах выхода коренных пород на поверхность.

Береговые валы – линейно вытянутые формы рельефа, параллельные урезу воды (высотой 1–3 м), образующиеся в береговой полосе морей и озер, как под водой, так и на пляжах, под воздействием волноприбойных процессов или течений. Береговые валы могут быть сложены песками, галечниками и валунами разных фракций. В Карелии встречаются на побережьях Белого моря, Ладожского, Онежского и других крупных озер.

Водно-ледниковые возвышенности – небольшие холмы, сложенные несортированным или слабосортированным моренным материалом.

Дельты выноса – многолопастные возвышенности, образовавшиеся в результате выноса осадочного материала мощными водными потоками при таянии льда. Осадочный материал состоит из слоисто залегающего песка и гальки. Например: дельты выноса встречаются на восточном побережье Ладожского озера, в районе Сулажгорских высот г. Петрозаводска.

Долины речные (речные террасы и поймы) – узкие и линейно вытянутые понижения, образованные деятельностью текучих вод. Террасы – ступенеобразные прибрежные уступы рек, формирующиеся при боковой и глубинной эрозии ложа долины. Поймы – периодически подтопляемые при высоком уровне воды прибрежные участки долины реки.

Ледник в стадии деградации

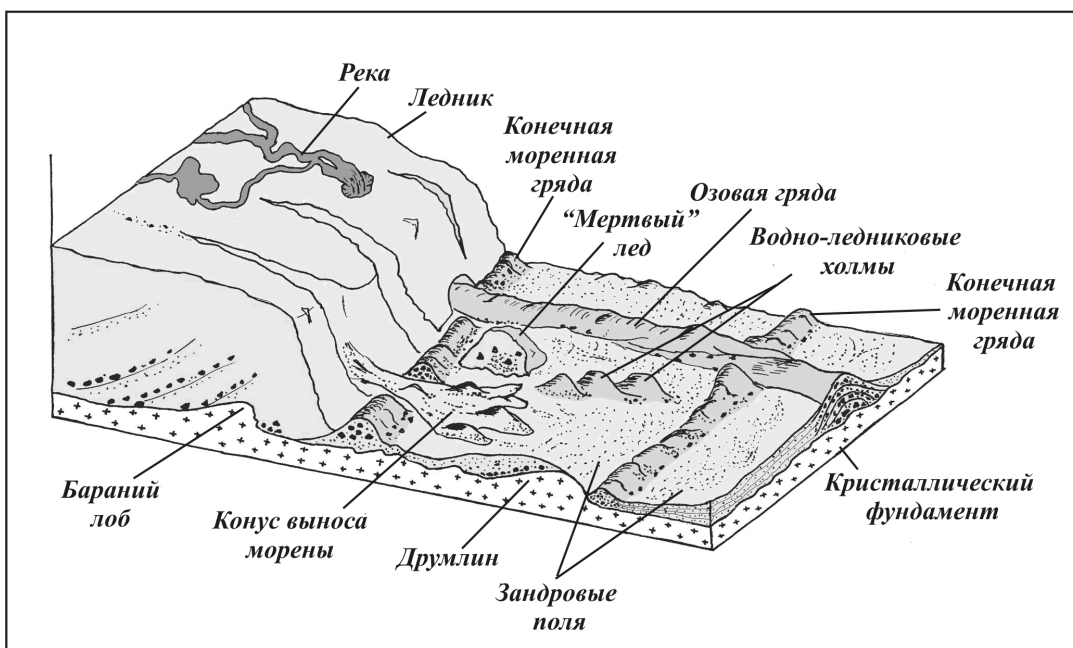


Рис. 6. ПРИМЕР ФОРМИРОВАНИЯ ГЛЯЦИАЛЬНЫХ И ФЛЮВИОГЛЯЦИАЛЬНЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА

Друмлины – холмы продолговато-овальной формы (рис. 7), длиной от нескольких десятков метров до 2 км и более, встречающиеся обычно группами в районах, подверженных действию ледника. В Карелии ядра друмлинов чаще всего состоят из коренных пород. Например: Лоймольское друмлиновое поле (Суоярвский район).

Дюны – песчаные холмы, образующиеся под воздействием ветра (эоловые процессы). В Карелии встречаются на побережье Белого моря, на восточных берегах Ладожского и Онежского озер с относительной высотой 10–20 м.

Зандровые поля – песчаные или галечниковые равнины водно-ледникового происхождения, т. е. образованные спокойно текущими водными потоками, вытекавшими из-под ледника, и расположенных впереди конечных морен. Обширные зандровые поля встречаются в Пудожском районе Карелии.

Звонцы – отдельные возвышенности высотой от 10 до 30 м с крутыми склонами и относительно плоскими вершинами, образовавшиеся в результате вытаивания «мертвого» льда, отделившегося от основного ледникового массива в период его деградации. Сложены сортированными песками. В Карелии встречаются в Пудожском районе.

Конечные морены – ледниковые формы рельефа, которые произошли в результате вытаивания моренного материала из тела ледника. Представляют собой валы и гряды, идущие параллельно друг другу и показывающие своим положением края ледника в периоды его таяния. Например: возвышенности Сальпаусселькя-I, Сальпаусселькя-II.

Курчавые скалы – скопления бараньих лбов – скалы, подвергшиеся обработке льдом при движении ледника; склон их, обращенный в сторону, откуда двигался ледник, пологий и гладко отполированный, противоположный – крутой и неровный.

Ледоразделительные аккумулятивные возвышенности – крупные возвышенности, образовавшиеся между лопастями ледниковых потоков в результате таяния льда и аккумуляции слабосортированной морены в понижениях. Например: возвышенности к востоку оз. Выгозеро, Олонецкая возвышенность.

Ложбины (долины, прадолины) стока – узкие, линейно вытянутые понижения в виде речных долин без террас. Образовались в результате действия мощных водных потоков, бурно стекавших с тела ледника и вымывших длинные долины в рыхлых отложениях. По некоторым долинам стока ледниковых вод ныне протекают реки, например, р. Кура в Пряжинском районе.

Морские и озерные террасы – ступенеобразные уступы побережий водоемов, формирующиеся при понижении уровня воды. Могут быть сложены песками, галечниками, валунами и кристаллическими породами. В Карелии встречаются на побережье Белого моря и крупных озер.

Морские марши – пологие, периодически затопляемые при высоких приливах и нагонах воды побережья моря, сложенные сортированными песками различных фракций и зарастающие гидрофильной и галофитной растительностью. В Карелии встречаются на побережье Белого моря.

Озовые гряды – длинные узкие и извилистые гряды (рис. 8), сложенные слабосортированными песками, валунами и галькой. Озы образовывались во время интенсивного таяния ледника в результате оседания аккумулятивного материала на дневную поверхность, переносившегося водными потоками, которые протекали по поверхности и в самом теле ледника. Протяженность озовых гряд может достигать 30–40 км при относительной высоте до 10–30 м, у них крутые склоны – до 40°. В Карелии наиболее красивым комплексом озового рельефа является район озера Толвоярви – ландшафтный заказник «Толвоярви» (Суоярвский район).

Сельги – вытянутые гряды и возвышенности, сложенные кристаллическими и осадочными породами. Часто ориентированы по направлению северо-запад – юго-восток. Иногда сельгами называют озовые гряды и другие вытянутые формы рельефа.

Торфяники – обширные по площади территории, занятые торфяными отложениями на месте зарастающих болот. Могут иметь мощность до 10 м.

Тунтури – возвышенности и низкогорья Северной Карелии, с хорошо развитой вертикальной поясностью. Наиболее возвышенные участки заняты горными тундрами.

СИМВОЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОМ (ГЕНЕТИЧЕСКОМ)
КАРТОГРАФИРОВАНИИ (По В. Гардинеру и Р. Дакомбу)



СЛОВАРЬ используемых терминов

ПОЧВЫ КАРЕЛИИ

Почвенный монолит – вертикальный образец почвы, отобранный (без нарушения ее строения) из стенки почвенного разреза. Почвенный монолит охватывает всю толщу почвы или ее основные горизонты; используется для исследования различных (главным образом физических) свойств почвы, а также в качестве наглядного пособия.

Почвенный разрез – вертикальная стенка ямы (шурфа), вскрывающая почвенный профиль.

Почвенный профиль – вертикальный разрез почвенной толщи от поверхности до материнской породы. Имеет слоистое строение, образуя совокупность генетически взаимосвязанных почвенных горизонтов и подгоризонтов, сформировавшихся в процессе почвообразования и лежащих друг над другом. Мощность почвенного профиля от десятков сантиметров до нескольких метров. Исследования почвенных профилей широко применяются также при картографировании почв.

Генетические горизонты – элементы стратификации почвенной толщи, обособленные постепенно в процессе формирования почвы. Не имеют резкой границы, постепенно переходят один в другой.

Горизонт аккумулятивно-элювиальный:

А – поверхностный, органо-минеральный горизонт почвы, содержащий гумифицированное органическое вещество – гумус.

A_{ov} – живой напочвенный покров. Представлен отмершими, частично минерализованными элементами растительного покрова, опада и т. п.

A₀ – лесная подстилка. Формируется под древесной растительностью, представляет собой растительный опад различной степени минерализации.

A₁ – перегнойно-аккумулятивный горизонт, гумусовый или органо-минеральный генетический горизонт. Формируется в верхней части почвенного профиля под генетическим горизонтом A₀. Цвет аккумулятивной части темный.

A_d – дернина. Формируется под луговой растительностью или в лесу, под травянистыми растительными ассоциациями.

A_t – торфяной горизонт. Формируется под зелеными, сфагновыми мхами или под разнотравной растительностью увлажненных мест.

A_h – перегнойный горизонт с большим количеством органического вещества (грубый гумус).

A_n – пахотный горизонт.

Горизонт вымывания:

A₂ – горизонт вымывания, выщелачивания, оподзоливания. За пределы горизонта выносятся растворимые минеральные вещества и органическая масса. Горизонт приобретает белесоватую окраску.

Горизонт вымывания – иллювиальный:

B – иллювиальный горизонт. Выпадают в осадок те химические соединения, которые были вымыты из верхней части почвенной толщи. Отличается более темной окраской, от оранжевого до охристого.

B_{1,2,3}, Fe, Al-Fe, Si-Al, h, f – горизонты могут отличаться по окраске, плотности, влажности, химическому составу от вышележащих, в зависимости от чего необходимо менять индексацию горизонтов. Индексы Al-Fe соответствуют алюмо-фералитным отложениям, Si-Al соответствуют алюмо-кремниевым отложениям, h – иллювиально-гумусовой компоненте, f – иллювиально-железистой.

Глеевый горизонт:

G – глеевый горизонт образуется в результате восстановительных процессов в условиях водонасыщения почвенной толщи. Благодаря присутствию соединений двухвалентного железа глеевый горизонт приобретает специфический голубовато-серый цвет, быстро принимающий охристый цвет при попадании на воздух из-за перехода железа из 2-хвалентной в 3-хвалентную форму. Генетический горизонт чаще всего формируется между иллювиальным горизонтом и материнской породой.

Кроме указанных горизонтов встречаются переходные, для которых применяются двойные обозначения: A₁A₂ – горизонт, прокрашенный гумусом и имеющий признаки оподзоленности и т. п.

Почвообразующие породы:

C – материнская порода несет следы процессов почвообразования в виде соединений, привнесенных сюда из верхних частей почвы.

C_{Al} – речной аллювий.

C_{Ca} – карбонатные породы.

D – литогенная основа, коренные породы.

D_C – шунгит.

M – морские отложения.

При более детальном изучении строения почвенного профиля внутри основных горизонтов выделяют характерные подгоризонты, смешенные горизонты. Горизонты могут выпадать, замещаться на другие и т. п. Сумма всех генетических горизонтов составляет почвенный профиль.

Мощность и глубина залегания генетических горизонтов определяется в сантиметрах. Рядом с индексом генетического горизонта обозначается его верхняя и нижняя границы. Разница между этими значениями и составит мощность генетического горизонта, например: горизонт A от 0–3 см – мощность 3 см; горизонт B 3–25 см – мощность 22 см; горизонт C 25–50 см – мощность 25 см. Сумма мощностей всех горизонтов составит мощность почвенного профиля – 50 см.

Цвет, окраска – самый важный индикаторный признак почв. Окраска почв довольно разнообразна и зависит от состава почвообразующих пород и типа почвообразования:

черный цвет верхнего горизонта зависит от гумусовых соединений;

красновато-ржавый, охристый цвет указывает на присутствие оксидов железа;

голубовато-серый или сизый цвет свидетельствует о наличии закиси железа;

черные пятна на красновато-буром фоне свидетельствуют о наличии гидроксидов марганца, шунгита, угля;

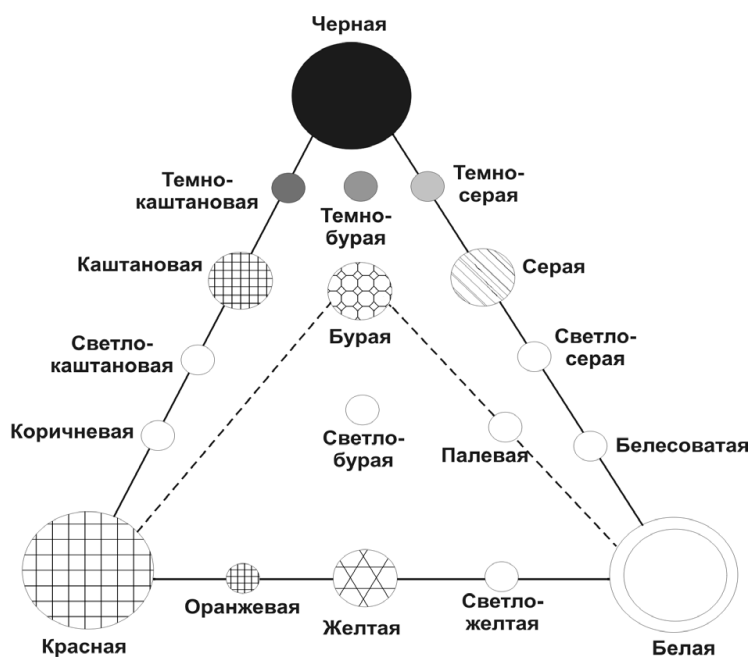


Рис. 9. ТРЕУГОЛЬНИК ЗАХАРОВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАЗВАНИЯ ОКРАСКИ ПОЧВЫ

белесоватая окраска зависит от накопления тонкодисперсных кварцевых песков;

белый цвет связан с присутствием карбонатов, которые реагируют вскипанием при воздействии на почву соляной кислотой.

Цвет нижних горизонтов зависит от цвета почвообразующих пород, их состава, выветривания.

Для унифицирования цветов и окраски почв С. А. Захаров предложил треугольник цветов, в вершинах которого расположены красный, черный, белый, а по сторонам и медианам нанесены названия возможных цветов, производных от смешивания трех основных (рис. 9, 10).

Механический состав почвы определяется процентным соотношением частиц, находящихся во взаимоотношении друг к другу (табл. 3).

Таблица 3

Механический состав	Проценты	Свойства
Песок	0–10	Рыхлый, сыпучий
Супесь	10–20	Рыхлый, сыпучий, частицы сцепляются
Суглинок	20–30	Частицы сцепляются непрочно
Суглинок средний	30–40	Частицы сцепляются прочнее
Суглинок тяжелый	40–50	Частицы сцепляются прочно
Глина	50–80	Частицы сцепляются очень прочно

Структура почвы или структурность – это способность почвы распадаться на отдельные, имеющие определенный размер и форму: агрегаты. Структурные отдельные подразделяются на три основных типа: кубовидный, призмовидный, плитовидный. На основании соотношений формы и размера структурные отдельные бывают глыбистыми, комковатыми, ореховатыми, зернистыми, пылеватыми, листовидными и др. Названия говорят сами за себя. Для разных типов почв характерна определенная структура. Ореховатая характерна для горизонта. В дерново-подзолистых почвах, для горизонта A_2 – пластинчатая и листовая.

Плотность почвы определяется при помощи почвенного ножа. Если нож входит в почвенный генетический горизонт без усилий – почва рыхлая; если с усилием, то почва уплотнена; если нож только царапает поверхность отвесной стенки почвенного профиля, такую почву называют сцементированной. Допускаются другие, не унифицированные качественные характеристики, позволяющие точнее описать морфологические признаки почв.

Влажность почвы определяет многие процессы почвообразования и зависит от ряда факторов, важнейшими из которых являются климат и рельеф. В зависимости от экологической ситуации влажность почвы может варьировать в очень широких пределах от слабоувлажненной до избыточно увлажненной. В этом диапазоне находятся такие качественные характеристики, как условно сухая, если почва оставляет след на бумаге; слегка увлажнена, если почва холодит руку; влажная, если влага оставляет след на руке, мокрая, если влага сочится из почвенного образца. При описании почвы допускаются такие качественные характеристики, как влажнее предыдущего и др.

Новообразования – это морфологически хорошо сформированные, четко обособленные от почвенной массы скопления минералов, возникших в процессе гипергенеза и почвообразования. Конкретные новообразования приурочены к определенным типам почв. Это обстоятельство было впервые обнаружено В. В. Докучаевым (1899) как проявление зональности. Для почвообразования в условиях таежно-подзолистого типа наиболее типично возникновение таких новообразований, как гидроксиды железа и марганца, а также находящиеся с ними в тесном парагенезисе вторичные железистые силикаты. Железистые новообразования в глинистых почвах обычно имеют вид мелких конкреций (ортштейны), а в песчаных – пропластков различной мощности (ортзанды). Менее распространены чисто марганцевые новообразования, имеющие вид черных пятен и мелких дробовидных конкреций. Для гидроморфных почв этой зоны также характерны своеобразные трубчатые конкреции, образовавшиеся вокруг отмерших корней (рошенштейны), и скопления и пропластки фосфатов железа.

Включения представляют собой ясно выделяющиеся элементы почвенной массы, генетически не связанные с процессом почвообразования. К ним относятся единичные валуны, захороненные корни деревьев, раковины и др.

Границы генетических горизонтов и характер перехода одного горизонта к другому. Для этого можно пользоваться следующими градациями переходов: резкий, ясный, постепенный. При этом смена одного горизонта на другой происходит на протяжении 3, 5, 7 см соответственно.

Морозобойные трещины возникают в условиях таежно-подзолистого типа почвообразования. Их можно обнаружить на стенках почвенного профиля в виде клиньев, нарушающих общий рисунок почвенного профиля. Начинается клин в верхних горизонтах, может продолжаться до материнской породы. Обычно весь клин наполнен подзолами, попадающими сюда из верхнего горизонта A_2 в результате выщелачивания.

Гумусовые пятна по ходу корней встречаются в верхней части переходного горизонта A_2 . Корни растений постепенно отмирают, органическая и минеральная части почвы активно взаимодействуют, формируя по ходам корней органо-минеральное специфическое вещество почвы – гумус. Гумус придает окраску в виде черных пятен элювиальному горизонту почвы.

Древесный уголь часто встречается в почвах под лесной подстилкой, или в верхних частях элювиального горизонта. Уголь может встречаться в виде отдельных локальных образований, либо в виде самостоятельного слоя, если имел место в прошлом лесной низовой пожар.

Погребенные горизонты возникают в почвах под воздействием изменений условий почвообразования. На заросших бывших пахотных почвах встречается под лесной подстилкой и современным горизонтом А погребенный органо-минеральный горизонт $[A_1]$. Погребенный дерновый горизонт $[A_d]$ встречается на заброшенных заливных лугах, в поймах рек или на лесных опушках. Для обозначения погребенных горизонтов используются квадратные скобки.

Классификация почв должна основываться не только на их признаках и свойствах, но и на особенностях их генезиса. Основной единицей классификации является тип почвы (табл. 4, 5).

Таблица 4
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЧВЫ

Тип	Подзолистые
Подтип	Подзолистые песчаные
Род	Подзолистые иллювиально-гумусово-железистые
Вид	Подзолистые иллювиально-гумусово-железистые кислые
Разновидность	Подзолистые иллювиально-гумусово-железистые кислые лесные
Разряд	Подзолистые иллювиально-гумусово-железистые кислые лесные на озерных отложениях

Таблица 5
КЛАССИФИКАТОР

Слабодерновые	$A_d < 10$ см
Среднедерновые	$A_d 10-20$ см
Глубокодерновые	$A_d > 20$ см
Слабоподзолистые	A_2 пятнами
Среднеподзолистые	$A_2 < 10$ см
Сильноподзолистые	$A_2 > A_1$
Торфяные	$A_T > 20$ см
Торфянистые	$A_T < 10$ см
Оторфованные	Свидетельствует о наличии процесса
Глеевые	Условия постоянного переувлажнения
Глееватые	Условия переменного переувлажнения
Оглеённые	Свидетельствует о наличии процесса
Маломощные перегнойные	$A_1 < 5$ см
Среднемощные перегнойные	$A_1 > 5$ см

Тип почвы предполагает формирование почв в одинаковых условиях, обладающих сходным строением и свойствами. К одному типу относятся почвы:

- 1) со сходными процессами превращения и миграции веществ;
- 2) со сходным характером водно-теплового режима;
- 3) с однотипным строением профиля по генетическим горизонтам;
- 4) со сходным уровнем природного плодородия;
- 5) с экологически сходным типом растительности.

При выделении подтипов почв учитываются процессы и признаки, обусловленные как широтнозональными, так и местными особенностями природных условий.

Роды и виды выделяются на основании химизма грунтовых вод и материнских пород, по степени выраженности основного почвообразовательного процесса.

Название почвы. Для наименования видов почв используют генетические термины, указывающие на степень развития этого процесса. Для подзолистых почв – степень подзолистости и глубина оподзоливания, мощность дернового горизонта, степень оглеения, мощность гумусового горизонта. Внутри видов определяются разновидности почв и разряд по механическому составу. В названии почвы должны найти отражение все происходящие в почвах и в каждом генетическом горизонте процессы.

РЕФЕРАТЫ

УДК 556.55

Современные методы исследований в лимнологии. Филатов Н. Н. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 11–29: ил. 8 + 4 цв. вкл. Библиогр. 32 назв.

В работе рассматриваются вопросы развития методов исследований в науке об озерах – лимнологии. Показано становление лимнологии, совершенствование теории и практики. В XXI веке задачи лимнологии существенно изменились по сравнению с теми, которые были всего лишь три десятилетия назад. Особое внимание обращается на геоинформатику, дистанционные аэрокосмические методы и математическое моделирование.

The paper considers the processes of research methods development in the study of lakes – limnology. Establishment of the science and advancement of its theoretical and practical aspects are described. The tasks of limnology in the 21st century have changed notably compared to what they used to be just three decades ago. The focus in the paper is on geoinformation applications, aerospace remote sensing methods and mathematical modeling.

УДК 556 (470.22)

Водные ресурсы Карелии как эколого-экономический фактор. Литвиненко А. В., Лозовик П. А., Карпечко В. А. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 29–36: ил. 2, табл. 5. Библиогр. 6 назв.

В статье отмечена актуальность исследований по водохозяйственной тематике для северных районов с высокой водообеспеченностью. Дана детальная характеристика структуры водной сети Карельского гидрографического района и ее особенностей. Показаны основные природные факторы (климат, геологическое строение, рельеф, географическое положение), определившие эти особенности и специфику формирования водных ресурсов. Приведены количественные и качественные характеристики водных ресурсов (объемы воды в озерах и водохранилищах, параметры речного стока, удельные показатели водообеспеченности). Даны особенности химического состава и характеристика современного качества поверхностных вод. Оценено влияние всех природных особенностей гидрографической сети и водных ресурсов на характер и специфику развития водного хозяйства республики и основные водно-экологические проблемы.

Topicality of research into water management issues in northern areas with high water availability is stressed. The structure of the water network of the Karelian hydrographic district and its specific features are described in detail. The main natural factors (climate, geological structure, topography, geographic location) that have predetermined these features and the patterns of formation of the water resources are represented. Qualitative and quantitative characteristics of the water resources (water volumes in lakes and impoundment reservoirs, streamflow parameters, specific water

availability) are reported. Characteristics of the chemical composition and current quality of surface waters are relayed. The effect of all natural traits of the drainage network and water resources on the trends and specific patterns in the development of water management in the republic and major water-related environmental problems is assessed.

УДК 551.58

Климат: определение понятия, основные компоненты. Назарова Л. Е. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 37–40. Библиогр.

В работе показано, как с течением времени понятие климата менялось, развивалось, постепенно включая в себя все новые элементы. Развитие теории формирования климата потребовало учета взаимодействий процессов в атмосфере, океане, на суше и в ледяных покровах земного шара. Кратко рассмотрены характеристики основных звеньев климатической системы: атмосферы, гидросферы, криосферы, литосферы, биосферы. Объясняются понятия транзитивные и интранзитивные системы, показана интранзитивность земного климата.

The paper demonstrates how the notion of the climate changed and developed with time, gradually widening to include more new elements. Development of the climate formation theory required that interactions among processes in the atmosphere, in the ocean, on land and in the Earth's ice sheets were taken into consideration. A brief account is given of the basic elements of the climatic system: atmosphere, hydrosphere, cryosphere, lithosphere, biosphere. The notions of transitive and intransitive systems are explained; the Earth's climate is shown to be intransitive.

УДК 556.3 (470.22)

Подземные воды Карелии и их использование. Бородулина Г. С. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 40–43: ил. 4, фото на вкл. Библиогр.

В статье приведена краткая характеристика условий формирования и распространения подземных вод в Карелии. Рассмотрены эксплуатационные возможности водоносных горизонтов и перспективы использования подземных вод для водоснабжения. Отражены результаты исследований по разведке и оценке запасов подземных вод в песчаных отложениях.

The paper gives a review of the formation conditions and distribution of groundwater resources in Karelia. Operational capacities of aquifers and potential for utilization of groundwater for water supply are considered. Results of studies for exploration and estimation of groundwater reserves in sandy deposits are reported.

УДК 630*221.0 : 556.16

Влияние рубок ухода на речной сток Карелии. Бондарик Н. Л. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 44–45: ил. 2, табл. 1. Библиогр.

Оценено влияние рубок ухода на испарение и сток с модельного водосбора, покрытого после сплошной вырубki 20-летней сосной. Рассмотрено изменение элементов водного баланса водосбора при трех сценариях проведения рубок промежуточного пользования в сравнении с контрольным водосбором за период в 80 лет. Показано, что увеличение стока после рубок ухода, начатых своевременно, не превышает 10%, в то время как полное сведение леса на участке вызывает его рост примерно в 2 раза. Наблюдающаяся сейчас тенденция к более редкому, но интенсивному изреживанию насаждений приведет к более значительным колебаниям стока.

The effect of stand tending on evaporation and runoff from a model catchment with 20-year-old pine stands regenerated upon clear-cutting is estimated. Changes in elements of the catchment's water budget over a period of 80 years are considered for three scenarios of thinning in comparison with a control catchment. It is shown that a rise in runoff after thinning started in proper time is not more than 10%, whereas clear-cutting nearly doubles it. The current tendency for a rarer but more intensive thinning of stands results in high runoff fluctuations.

УДК 551.577

Кислотные дожди и проблема закисления поверхностных вод. Потапова И. Ю. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 46–49, табл. 1. Библиогр. 7 назв.

В статье описаны процессы формирования атмосферных осадков, указаны источники поступления в атмосферу кислотообразующих веществ естественного и антропогенного происхождения, описаны экологические последствия воздействия кислотных осадков на окружающую среду. Дана характеристика химического состава атмосферных осадков, выпадающих на территории Карелии. Приводятся результаты исследований, характеризующие устойчивость водных объектов Карелии к закислению.

The paper recounts precipitation formation processes, names the sources from which natural and anthropogenic acid-forming substances are supplied to the atmosphere, describes the environmental consequences of acidic precipitation. Chemical composition of atmospheric precipitation in Karelia is characterized. Results of studies on the resistance of Karelia's waters to acidification are reported.

УДК 574.635

О самоочищении водоемов. Дубровина Л. В. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 50–51. Библиогр.

Приводится краткий обзор факторов, способствующих самоочистительной способности пресных водоемов. Акцентируется внимание на значении в процессах самоочищения биологического фактора. Анализируются возможные причины низкой самоочистительной способности водоемов Севера.

The factors promoting the self-purifying capacity of freshwater bodies are briefly reviewed. The focus is on the significance of the biological factor in self-

purification processes. Potential reasons for the low self-purifying capacity of waters in the North are analysed.

УДК 556.555.4

Термические процессы в озерах Карелии. Ефремова Т. В. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 52–58: ил. 3 + 1 цв. вкл. Библиогр.

Приводятся общие сведения о формировании термического режима озер Карелии. Рассматривается сезонная изменчивость распределения температуры воды в зависимости от геометрических размеров озер. Показаны различия в формировании термического режима крупных и мелких озер. Описаны процессы формирования термического бара, прямой и обратной стратификации, апвеллинга, показано их влияние на распределение кислорода и гидробионтов в водоемах.

General information about the formation of the thermal regime in lakes of Karelia is provided. Seasonal variability of the water temperature distribution depending on the lake geometric dimensions is considered. Differences between large and small lakes in the thermal regime formation are demonstrated. Processes of the thermobar, direct and reverse stratification, upwelling formation are described; their effect on the distribution of oxygen and aquatic organisms in water-bodies is demonstrated.

УДК 574.583

Зоопланктон водоемов Карелии. Куликова Т. П. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 58–77: ил. 15. Библиогр. 11 назв.

Приводятся сведения по экологии основных таксономических групп зоопланктонных организмов (простейшие, коловратки, ракообразные). Описаны методы отбора и обработки проб зоопланктона. Обсуждаются возможности оценки качества вод с помощью организмов планктонной фауны. Статья сопровождается определителем (6 рисунков) наиболее распространенных в карельских водоемах представителей зоопланктона, необходимым для исследовательской работы.

Data on the ecology of major taxonomic groups of zooplanktonic organisms (protozoans, rotifers, crustaceans) are presented. Techniques for zooplankton sampling and sample treatment are described. Possibilities for assessing water quality using planktonic organisms are discussed. The paper is supplemented with a key (6 figures) to the most common zooplankton representatives in Karelian waters, which is necessary for research.

УДК 582.232/.275 : 556.5 (470.22)

Альгоиндикация состояния водоемов Карелии. Чекрыжева Т. А. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 78–82: ил. 5, табл. 1. Библиогр. 9 назв.

Показано, что высокое видовое (таксономическое) разнообразие планктонной альгофлоры разно-

типных карельских озер, определяемое многообразием экологических условий, формируется, в основном из представителей диатомовых (50% таксонов) и зеленых (30% таксонов) водорослей. Представлены эколого-географические характеристики отдельных видов водорослей, а также виды-индикаторы как чистых, так и вод с повышенным уровнем закисленности, минерализации, трофности, органического загрязнения, а также виды, являющиеся возбудителями «цветения» вод. Приведены примеры использования метода альгоиндикации для оценки экологического состояния ряда водных объектов республики и качества их вод.

It is demonstrated that the high species (taxonomic) diversity of the planktonic algal flora in lakes of different types in Karelia, predetermined by the high variety of ecological conditions, is constituted chiefly by diatoms (50% of taxa) and green algae (30% of taxa). Ecogeographic characteristics of some algal species, as well as indicator-species of both clean water and water with elevated levels of acidification, mineralization, nutrients, organic pollutants, and species causing water «blooms» are presented. Examples are given of applying the method of algal indication in the assessment of the ecological status of some water-bodies in the republic and their water quality.

УДК 574.587

Рекомендации по оценке состояния экосистем малых водоемов по организмам макрозообентоса. Полякова Т. Н. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 85–105: табл. 16. Библиогр. 13 назв.

Рекомендуются сравнительно простые системы оценки качества воды по донным организмам для факультативных занятий по биологии в школе и мониторинговых наблюдений за состоянием водоемов и водотоков. Приводятся примеры применения методик, даются рекомендации по отбору проб. Статья сопровождается простейшими определительными таблицами донных беспозвоночных.

Relatively simple systems for assessing water quality using benthic organisms are recommended for optional biology classes at school and for monitoring the status of water-bodies and watercourses. Examples of applying the techniques and sampling guidelines are provided. The paper is supplied with plain benthic invertebrate identification charts.

УДК 574.633

Методы биотестирования воды и водных вытяжек из почв. Калинин Н. М. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 106–109: табл. 3. Библиогр. 10 назв.

Описаны экспрессные методы биотестирования образцов воды и водных вытяжек из почв. Предложенные в статье приемы биотестирования, основанные на табличном методе, позволяют получить не только параметр токсичности образцов воды (величину среднесмертельного разбавления), но и его стандартную ошибку, что позволяет оценивать достоверность различия между показателями токсичности различных образцов воды. Данные методы могут

быть использованы для целей экологического образования, а именно, оценки эколого-токсикологической ситуации на водоемах или косвенных оценок загрязнения почв в различных участках населенного пункта.

Express methods for biotesting samples of water and aqueous extracts from soils are described. The biotesting tools based on the tabular methods suggested in the paper yield not only the water sample toxicity value (mean lethal dilution) but also the standard error, so that the difference between the toxicity values obtained for different water samples can be verified. These methods can be used in environmental education, namely, in teaching the assessment of the eco-toxicological situation in water-bodies or indirect assessment of soil pollution in different sites in a settlement.

УДК 597

Некоторые методики ихтиологических исследований в курсе школьной факультативной программы по биологии. Георгиев А. П. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 110–116: ил. 7, табл. 2. Библиогр. 6.

Освещены вопросы, связанные с методикой проведения ихтиологических исследований, которые можно проводить на факультативных занятиях в школьной программе по биологии. В частности, содержится методика исследования размерно-возрастной структуры популяции (на примере рипуса), плодовитости, упитанности. Рисунки с пояснениями помогут правильно выполнять работу. Наряду с относительной простотой проведения подобных работ их следует признать научными. На основании результатов возможно написание работ, которые можно опубликовать на республиканских, всероссийских и даже международных конференциях.

The paper deals with issues related to the techniques for ichthyological studies that can be carried out at optional biology classes at school. The paper contains i.a. a technique for studying the size/age structure of a population (with Ladoga cisco as the example), fecundity, fatness. It is supplied with figures with explanatory notes to help guide the activities. Being quite simple, the activities can be recognized as scientific work. Their results can be used to prepare a paper suitable for publication at regional, national and even international conferences.

УДК 551.524

Реконструкция и анализ внутривековой изменчивости годовой температуры воздуха при отсутствии данных наблюдений (на примере г. Питкяранты). Сало Ю. А., Емельянова М. В. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 116–122: ил. 7, табл. 2. Библиогр. 7 назв.

Изложен способ реконструкции хронологического ряда среднегодовой температуры воздуха для пункта, в котором отсутствуют регулярные и продолжительные метеорологические наблюдения. Для г. Питкяранты с использованием метода аналогии и

данных наблюдений на метеостанциях Сортавалы, Суоярви и Олонца восстановлен ряд годовой температуры воздуха за период 1945–2002 гг., удлинённый до 1900 г. и использованием данных по метеостанции Петрозаводск. Выполнен анализ внутривековой изменчивости годовой температуры воздуха в Питкяранте, вычислена норма температуры, установлены наиболее теплые и холодные годы, оценен линейный тренд и выявлены квазипериодические колебания температуры воздуха с периодом около 13 лет.

A method for reconstructing the chronological series of the mean annual air temperature for a site with regular and long-term meteorological observations missing is described. The 1945–2002 annual air temperature series was restored for the Town of Pitkäranta using the analogy method and data of observations at weather stations in Sortavala, Suojärvi and Olonets. The series was extended to 1900 using data from the Petrozavodsk weather station. Centennial variation of the annual air temperature in Pitkäranta was analysed, the temperature norm was computed, the warmest and coldest years were determined, the linear trend was assessed and quasi-periodic air temperature fluctuations with a period of 13 years were identified.

УДК 556.114 : 556.55

Гидрохимические исследования озера Пряжинского. Потапова И. Ю., Белкина Н. А., Бородулина Г. С., Лозовик П. А., Рыжак А. В. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 123–134: ил. 4, табл. 14. Библиогр. 19 назв.

По материалам гидрохимических наблюдений дана характеристика химического состава поверхностных, подземных вод и донных отложений озера Пряжинского. Определен трофический статус и индекс загрязненности воды озера и руч. Дегенс. Приводится оценка подземного стока и химического баланса озера. Проведен анализ устойчивости озера Пряжинского к закислению.

Materials from hydrochemical observations were used to produce a description of the chemical composition of surface water, ground water and bottom sediments of Lake Pryazhinskoye. The nutrient status and water pollution index of the lake and the Degens Brook were determined. Estimation of the groundwater discharge and chemical balance of the lake is underway. Resistance of Lake Pryazhinskoye to acidification has been analysed.

УДК 551.312(470.22)

Изучение озерных донных отложений (на примере водоемов Заонежского полуострова). Белкина Н. А. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 135–138: ил. 1 + 1 цв. вкл., табл. 7. Библиогр. 10 назв.

На примере озер Заонежского полуострова показан комплексный подход к изучению донных отложений, образующихся из разнообразных частиц, оседающих на дно за весь период существования водоема. Представлены схемы распределения типов

донных отложений по дну котловин, описан гранулометрический и химический состав осадков.

The case of Zaonezhje Peninsula lakes was used to demonstrate an integrated approach to studying bottom sediments formed of various particles deposited onto the bottom throughout the lake lifetime. Schemes of the distribution of bottom sediment types over the bottom are presented; the particle-size and chemical composition of the sediments is described.

УДК 574

Создание виртуальной экологической тропы «Озеро Пряжинское». Толстик А. В., Потахин М. С., Богданова М. С. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 138–141: ил. 1 + 2 цв. вкл. Библиогр. 7 назв.

В статье изложена история создания и принципы организации экологических троп. Дано описание виртуальной экологической тропы, как нового направления в образовательной и просветительской деятельности. Обосновано представление созданного электронного ресурса в виде мультимедийного DVD-диска. Приводится пример создания виртуальной экологической тропы «Озеро Пряжинское».

The paper relates the history and principles of organizing nature trails. The «virtual» nature trail is described as a new trend in educational and awareness activities. Representation of the newly created digital resources in the form of a multimedia CD or DVD is substantiated. An example of creating the virtual nature trail «Lake Pryazhinskoye» is given.

УДК 556.557

Изучение загрязнения береговой линии и изменения приаквальных геокомплексов. Потахин С. Б., Богданова М. С. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 142–144: ил. 3 цв. фото.

В представленной методической статье раскрыты задачи исследования береговой линии, описана методика изучения загрязнения побережий, представлен бланк описания ключевого участка. Также приведены примеры исследования загрязнения берегов Петрозаводской губы Онежского озера, и рассмотрены мероприятия по утилизации бытового и промышленного мусора, скопившегося на побережьях водоемов.

The present technical paper explains the tasks of shoreline studies, describes the technique for studying shore area pollution, provides a description form for a key site. Also, examples of studying the shore of the Petrozavodsk Bay, Lake Onego are given, and activities for recycling of domestic and industrial litter from shore areas are considered.

УДК 556.024

Опыт организации и проведения учебных полевых практик. Гриппа С. П., Щеколдина И. В. // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 144–165: ил. 7 + 5 цв. вкл., табл. 4. Библиогр. 16 назв.

Статья подготовлена с целью обучения школьников первоначальным навыкам работы в полевых условиях в летний период. Она состоит из двух взаимодополняемых частей: геоморфологии и географии почв. Работа включает часть теоретического материала по геоморфологии и географии почв в помощь учителю и школьнику: развитие рельефа, развитие почв. Эти разделы предваряют подготовительный этап при проведении полевых работ и дают некоторую ясность в плане дальнейшего соприкосновения с природным материалом. Содержание разделов, непосредственно посвященных методикам проведения полевых работ, четко структурировано, дает исчерпывающую информацию обо всех этапах и видах полевых работ, серии приемов и методов исследования. Приводятся рекомендации по сбору и оформлению материала, его систематизации и обобщению. Обширный справочный материал во многом позволит школьникам сориентироваться в переплетении процессов и явлений и самостоятельно делать заключения о взаимосвязях в природе.

Особое внимание уделено детальному описанию проведения практических работ. Руководствуясь приведенными в тексте рекомендациями, можно не сомневаться, что школьники самостоятельно и с большим интересом будут участвовать в серьезной научно-исследовательской работе, как равноправные члены единого научного сообщества,

принимающего участие в общем деле изучения природы.

The paper has been prepared to facilitate teaching of initial summer field work skills to schoolchildren. It is made up of two complementary parts: geomorphology and soil geography. The paper comprises some theoretical material on geomorphology and soil geography to assist teachers and schoolchildren: evolution of the topography, soil development. These sections precede the preparatory stage of the field work, clarifying some basics for further encounter with the natural material. The sections devoted directly to implementation of field work are clearly structured, providing exhaustive information on all stages and kinds of field activities, sets of tools and methods for the study. The publication gives recommendations on gathering and documenting, systematizing and generalizing the material. Extensive reference material shall help schoolchildren find a way through the complex web of processes and phenomena, and make their own conclusions about interrelations in nature.

A special focus is on detailed description of implementation of field activities. Following the recommendations provided in the text, schoolchildren will no doubt feel interested in doing independent serious scientific research as full members of the scientific community involved in a common work of studying the nature.

**ИЗУЧЕНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ
КОМПЛЕКСОВ КАРЕЛИИ**

*Печатается по решению Ученого Совета ИВПС
Карельского научного центра РАН*

Редактор М. А. Радостина
Оригинал-макет Т. Н. Люрина
Рисунки на обложке и к разделам Ю. М. Матросовой

Серия ИД. Изд. лиц. № 00041 от 30.08.99 г. Сдано в печать 12.03.07.
Формат 60x84¹/₈. Гарнитура Pragmatica. Печать офсетная.
Уч.-изд. л. 19,4 + 1,5 (вклейки). Усл. печ. л. 19,54. Тираж 500. Изд. № 93. Заказ 650.

Карельский научный центр РАН
Редакционно-издательский отдел
Петрозаводск, пр. А. Невского, 50